técnica

358

associação dos estudantes do instituto superior técnico

maio 1966

revista de engenharia

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 41 91

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO
E DA CACHOFARRA

●

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

técnica

*NUMERO 358 * MAIO DE 1966 * ANO XLI * VOLUME XXVIII * PUBLICAÇAO MENSAL*

Director
Assis Farinha Martins

Administrador
V. M. Martins Pinto

Secretário
Victor Coias e Silva

Redactores
Amadeu M. R. Marrecas
Amílcar S. Martins
João C. V. F. Antas
Mário P. M. Garcia

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

*

Assinaturas

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

Número avulso — 15$00

*

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais, 108 — Lisboa

SUMÁRIO

423 Editorial

425 *GOUVÊA PORTELA* — **The non linear problem**
O problema não linear

435 *DOMINGOS MOURA* — **O aquecimento dos motores eléctricos utilizados em regime variável**
Heating of electrical motors running at non-continuous rating

445 *J. RESSURREIÇÃO NETO* — **Prospecção eléctrica dos terrenos de fundação. Possibilidades e limitações**
Resistivity Surveying of Foundations Grounds

*

461 Vida Escolar e Associativa
ROMÃO DIAS — Alguns aspectos da extracção por solventes de catiões metálicos. Aplicações Analíticas

434 Notas Informativas
Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

477 Do Mundo Técnico
Regulação de um motor de tracção de corrente contínua por meio de tiristores

483 Biblioteca

CAPA Terminal petrolífero na Trafaria, da Esso Standard Portuguesa. (Projecto e execução de Construções Técnicas, Lda.)

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A — Pág.

A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXX
Aguiar e Melo XXXI
Auto-Lusitânia . . . . . 2.ª da capa
Automática Eléctrica XX
Asea Eléctrica Ld.ª V

B

B. P. XIV

C

Carrasqueiro & Teixeira XXVIII
CIDEX IV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XXXII
Companhia União Fabril XXXIII
Construções Técnicas XXV

D

Dial XX

E

Electro-Arco, Ltd.ª IV
Empresa de Cimentos de Leiria . . IX
Empresa Electro Cerâmica XXIX
Empresa de Produtos Asfálticos. . . X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações XVI
ESSO VI

F

Fábrica Portugal II
Fábrica de Condutores Eléctricos Diogo d'Avila XXVII
Fanafel XVI
Fundações Franki, Lda. I

G

George Fischer III
Guedes & Almeida, Lda. XXXVIII

H — Pág.

Harker Sumner & C.ª, Ltd. XII
Heliaço . . . . . 2.ª da capa
Hotel dos Navegadores XXVIII

I

Isola XXVII

J

Jayme da Costa, Lda XV
Johann Keller XXXVII

M

MAGUE XIII
Mobil Oil Portuguesa . . . . . 4.ª da capa
Monteiro Gomes, Lda. XXXVI

N

Novobra, Lda. XXVIII

Q

Quimicor, S.A.R.L. XIX

R

Roberto Bosch (Portugal), Lda. . . . XVIII
Rotring XXIX

S

Sociedade Portuguesa Cavan . . . VIII
Sociedade Portuguesa de Válvulas XXVI
Sondagens e Fundações A. Cavaco . IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXVII
Sopecate XXXVII
Standard Eléctrica VII
S. T. E. T. XXI

T

Technocommerz GmbH XXXV

U

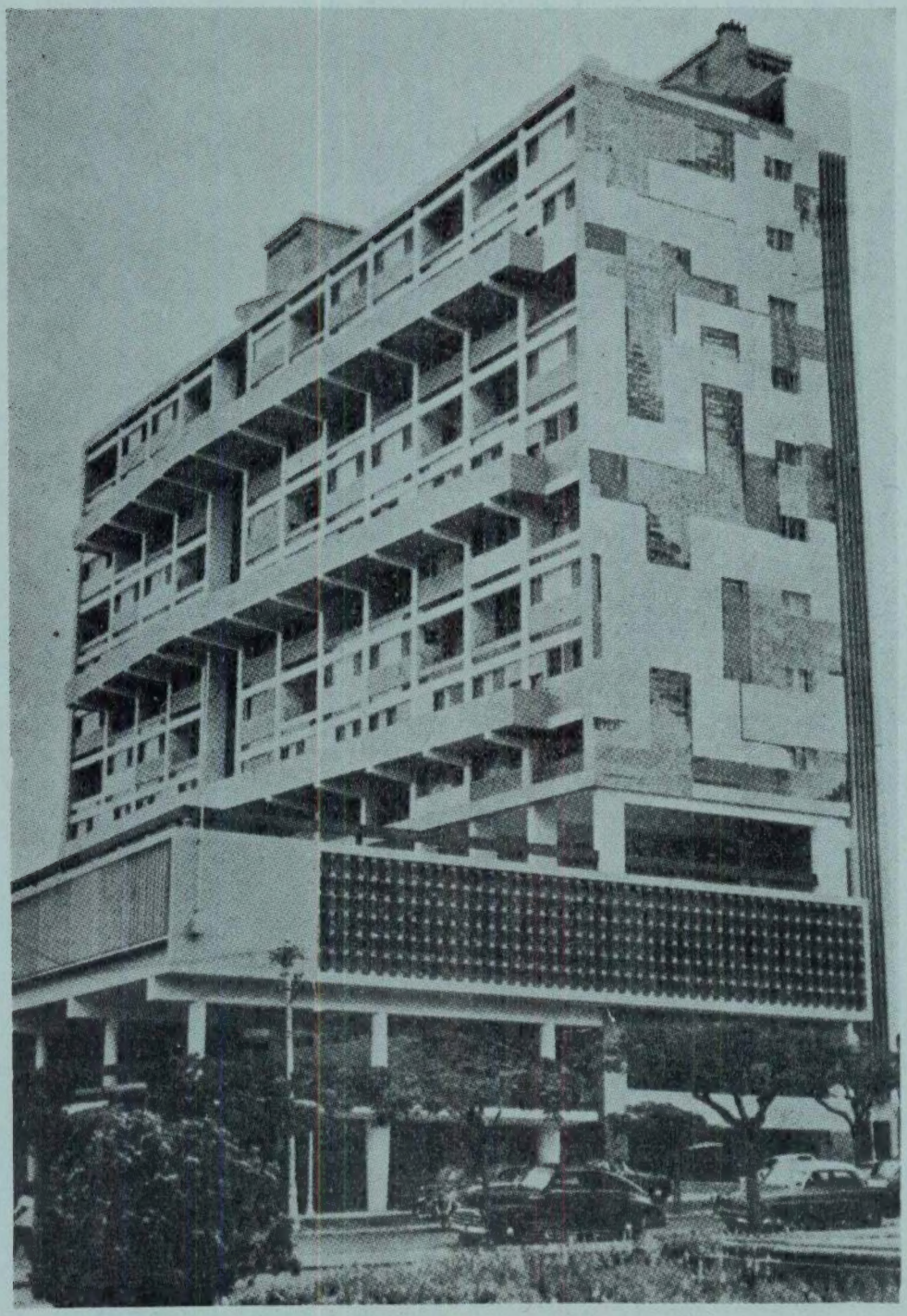
União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa

V

Vasco Pessoa, Lda. XX

W

Wild Portugal, Lda. XVII



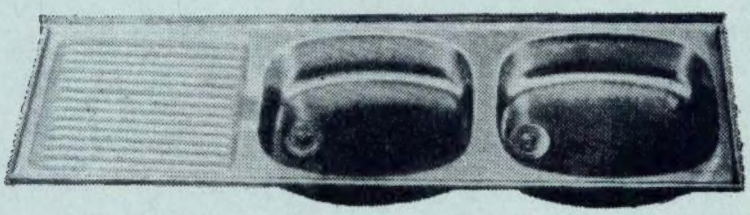
Montepio de Moçambique — Lourenço Marques

Assente sobre
ESTACAS FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

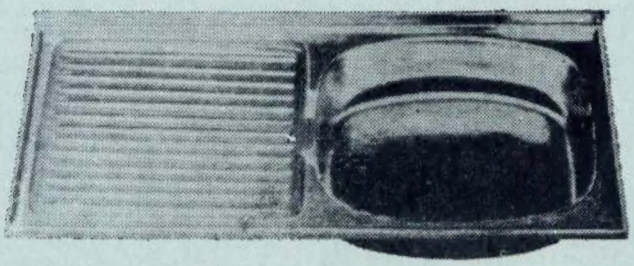
Rua Braamcamp, 13, 3.º LISBOA 1 Telefone 73 41 12 3 linhas
TECNICA I

LAVA-LOUÇAS EM AÇO INOXIDAVEL



Modernize os lares de Portugal, usando nas suas cozinhas Lava-Louças em AÇO INOXIDÁVEL. Concepção e execução da

FABRICA PORTUGAL

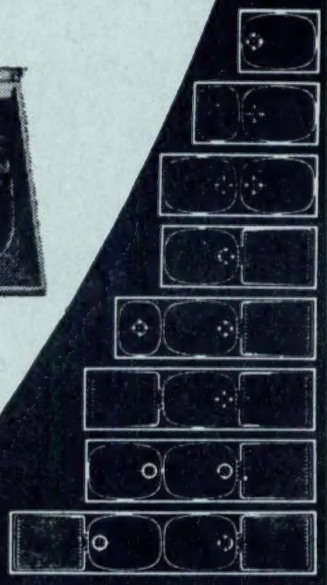


elegantes e higiénicos · duração ilimitada · revestidos de isolante especial · fornecidos com sifão de segurança · não partem a louça

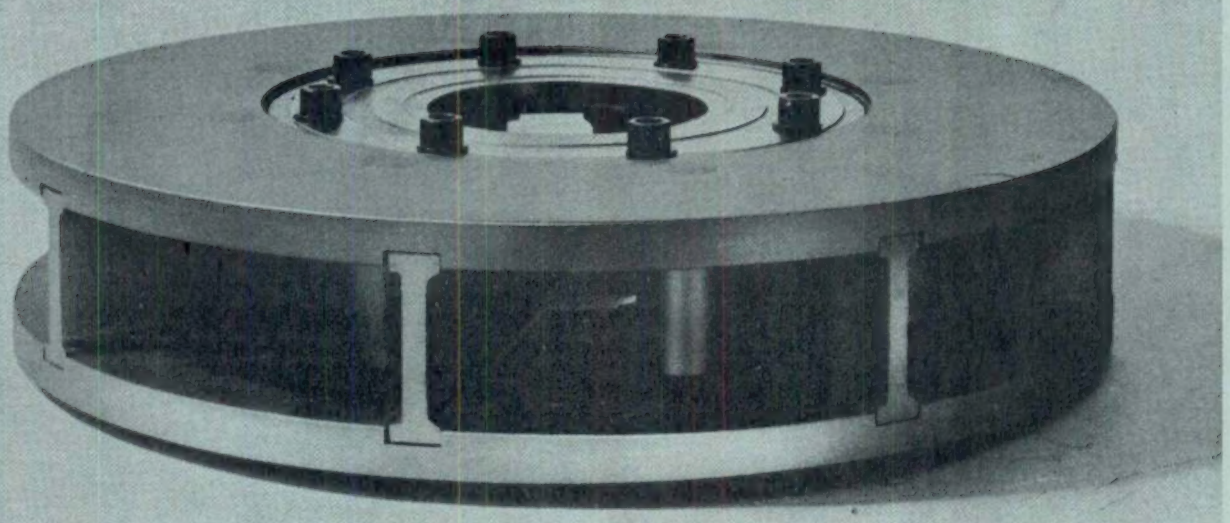
- 8 MODELOS STANDARD · OUTROS MODELOS FORA DE SÉRIE
- MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES
- IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE E NOS SEUS SALÕES DE EXPOSIÇÃO E VENDA

PRAÇA DOS RESTAURADORES - RUA FEBO MONIZ



ISTO É TUDO ?



Super turbina da máquina +GF+ a tambor WHEELABRATOR (patentes depositadas)

Mas não! Mas isto é o orgão essencial que condiciona o rendimento inegualavel até agora das máquinas a tambor **+GF+**. A quantidade de grenalha projectada por esta super turbina é superior aquilo que tem sido possivel obter neste dominio (até 1000 kgs. segundo o modelo).

O jacto abrasivo, estritamente delimitado, é dirigido com precisão e a sua densidade é uniforme. As velocidades de projecção são muito elevadas (até 85 m/s).

A isto se juntará

– Uma separação activada dos corpos estranhos (graças aos depuradores de abrasivo mais amplamente dimensionados).

– A possibilidade de modificar rapidamente e simplesmente a velocidade do tapete para obter uma cadencia de trabalho optima.

– A certeza de dispor da máquina mais adequada a cada tratamento.

Com efeito a nova gama não comporta menos de 40 máquinas de capacidade e tipos diferentes.

Tôdas estas máquinas se colocam sobre o solo, sem fundações, reduzindo os encargos de instalações e falicitam a vigilância e conservação. Poderemos nós vos documentar duma maneira mais detalhada?

Pedi nossos catalogos ou a visita dos nossos especialistas.

+GF+ Georges Fischer Sociedade Anónima, Schaffhouse (Suiça)

GM 1299/5 Endereço postal: 8201 Schaffhouse Telefone: 053 5 60 31 e 053 5 70 31 Telegrammas: Geofischer Telescriptôr: 5 62 22 geofischer schf

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:
- Petróleos
- Indústrias químicas
- Construções navais
- Centrais eléctricas
- Alimentação de caldeiras
- Etc., etc.

Sob as condições de funcionamento seguintes:
- Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
- Pressões: altas e baixas
- Temperaturas: −180° C + 500° C
- Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.°/Telef. 73 53 07/LISBOA 1

Pesquisas e captações de água

Sondagens

Rebaixamento de níveis aquíferos

Injecções e consolidações de terrenos

Fundações

Estacas de betão

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
- TELEF. 73 35 45 - 5 95 62 - 55 38 73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

ESCOLAS DE SOLDADURA

—

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

Detecte as avarias no bom momento...

com o gerador ASEA de impulsos para ensaio TUA 5

As instalações eléctricas nos navios, embora semelhantes em muitos aspectos às instalações normalmente usadas em terra, estão expostas a trabalhos muito mais severos, sob a forma de vibrações, humidade, etc. As avarias eléctricas que mais frequentemente ocorrem nos navios podem agrupar-se em quatro causas principais: defeitos de instalação, deterioração mecânica, isolamentos velhos e estragos devidos ao calor ou à humidade. Pequenos espaços de ar ocorrem em série no local da avaria, o que torna impossível detectar a falha usando um verificador normal de isolamento.

A fim de localizar estas avarias que podem ser muitas vezes de natureza séria, criou a ASEA um verificador especial chamado TUA 5. Este aparelho gera em cada segundo um impulso de alta tensão. O valor da crista foi tomado para três posições fixas: 3, 4 e 5 KV. As ondas, ao atravessarem os espaços de ar no ponto da avaria, registam-nos no mostrador do detector de impulsos. O ponto da avaria pode ser fàcilmente localizado seguindo-se o circuito avariado, ouvindo-se nesse ponto o estalido da descarga.

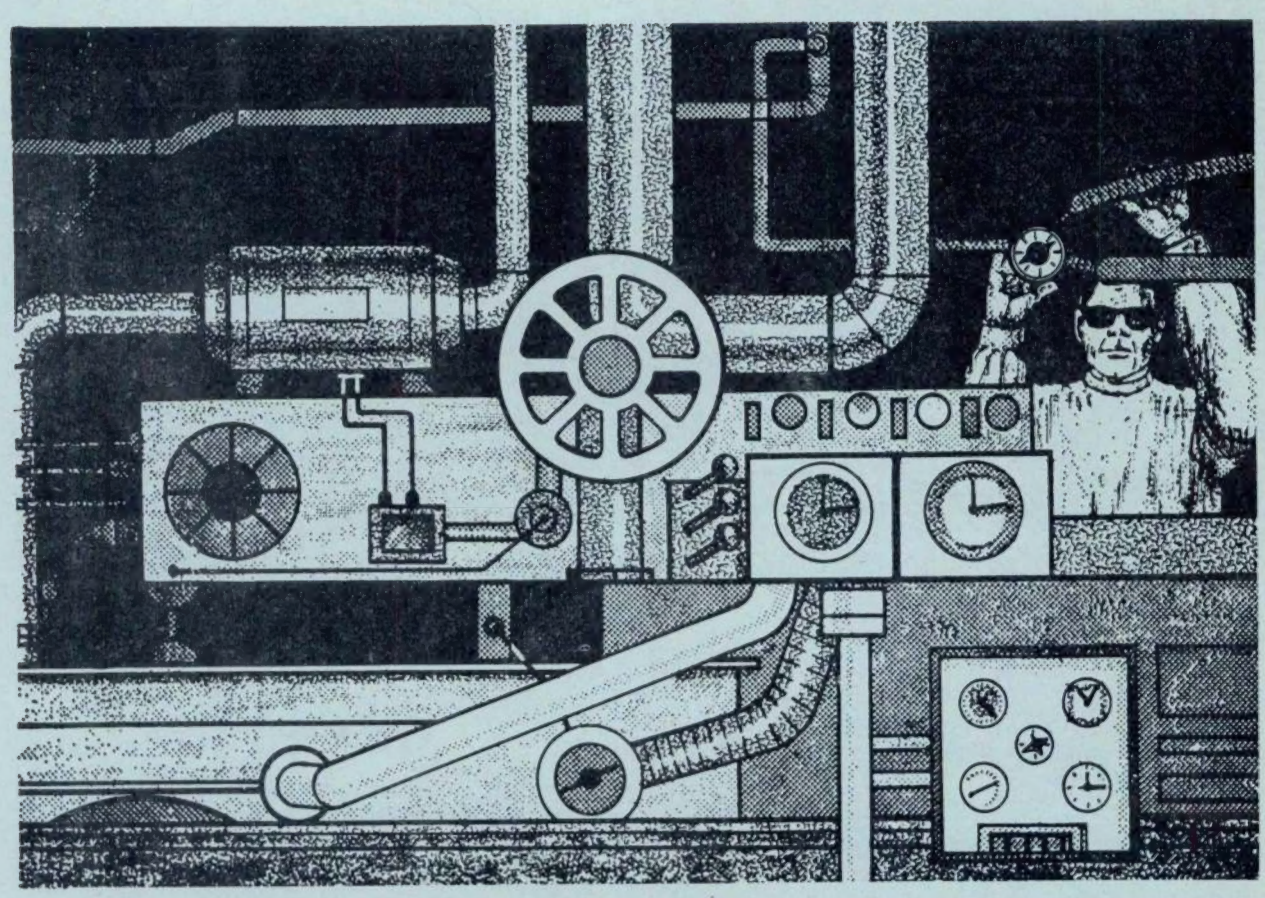
Evite acidentes ruinosos verificando as suas instalações eléctricas com um gerador de impulsos para ensaio tipo TUA 5. O equipamento normal da maioria dos barcos suecos inclui o TUA 5.

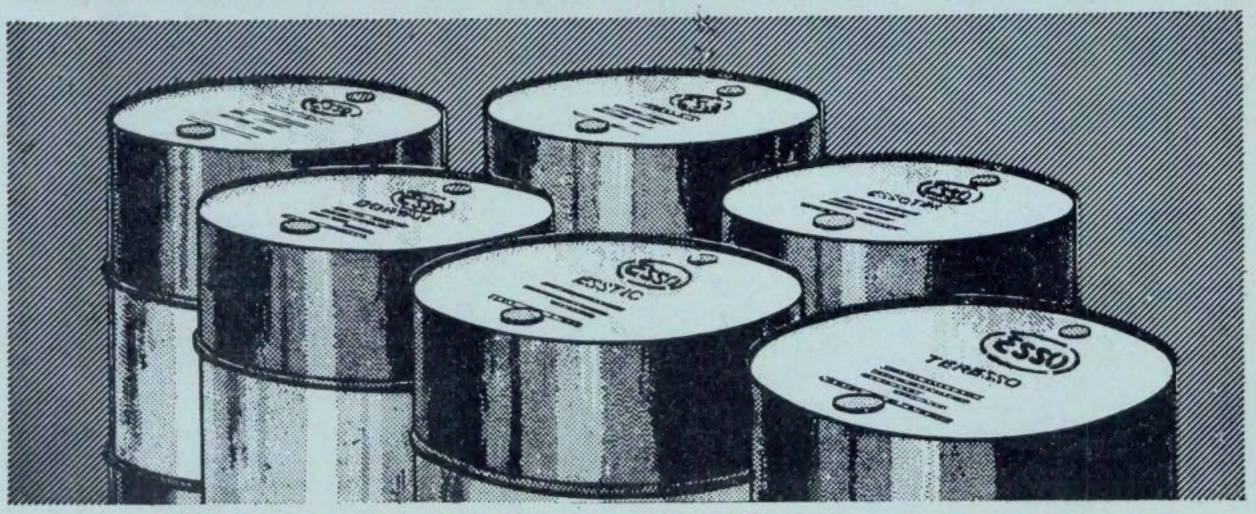
uma força criadora no domínio da electricidade

ASEA

ELÉCTRICA, LDA.

SEDE EM LISBOA: R. RODRIGUES SAMPAIO, 18, 5.º
FILIAL NO PORTO: RUA DO CAMPO ALEGRE, 144





ESSO GARANTE UMA PRODUÇÃO ININTERRUPTA

Há óleos industriais ESSO para toda a espécie de maquinaria. Eles permitem uma produção Ininterrupta porque reduzem ao mínimo a possibilidade de paralização das máquinas.

O óleo industrial ESSO garante, ainda, uma grande economia na manutenção do material, melhor conservação e menor desgaste das peças.

Do seu uso decorre uma maior produtividade e consequentemente, maiores benefícios.

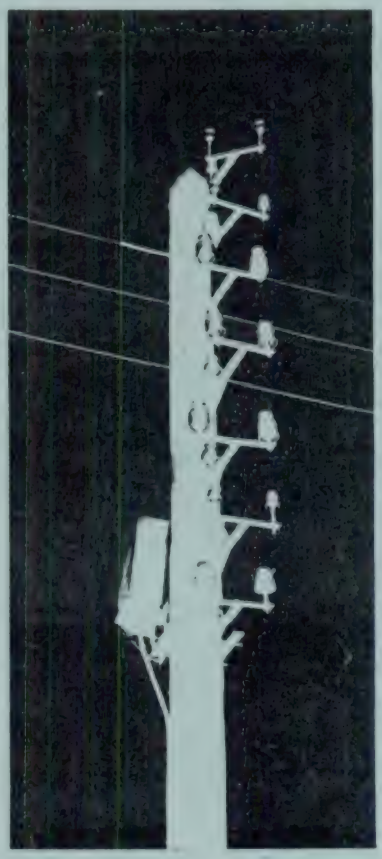
ESSO .... PROGRESSO .... SUCESSO

ESSO

O SIMBOLO ESSO REPRESENTA SETENTA E SETE ANOS DE EXPERIÊNCIA MUNDIAL, COM VINTE DE BONS SERVIÇOS EM PORTUGAL

ESSO STANDARD PORTUGUESA (COMPANHIA DE PETRÓLEOS) S. A. R. L.

Em Lisboa: Rua Filipe Folque, 2 – No Porto: Av. Serpa Pinto, 227 - Matosinhos



Conhece todas as aplicações destes rectificadores de selénio, tipo miniatura?

Usados em equipamentos de electrónica, principalmente para o fornecimento de corrente contínua, os rectificadores de selénio, tipo miniatura, encontram muitas aplicações noutros campos, como por exemplo :

— estabilizadores de baixas tensões
— resistências não lineares
— abafadores de faíscas

Estas aplicações conduzem à utilização dos rectificadores de selénio no vasto campo das telecomunicações, automação, em equipamentos de comando e medida, etc...

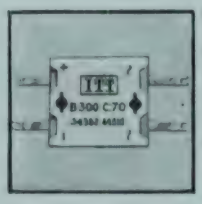
Os processos de fabrico da ITT garantem correntes constantes, nos sentidos directo e inverso, durante todo o período de vida útil, mesmo sob severas condições de temperatura.

A extensa linha ITT de rectificadores de selénio de pequenas dimensões, que compreende mais de 700 modelos miniatura diferentes, abrangendo tipos espalmados, compactos e tubulares, permite, portanto, resolver qualquer problema específico.

Para informações adicionais relativas aos nossos rectificadores de selénio tipo miniatura ou à nossa linha completa de componentes, que se estende desde os micro-módulos às válvulas gigantes de emissão, consulte a :

STANDARD ELÉCTRICA, s.a.r.l.

Avenida da India — Lisboa 3
Telefone: 63 81 71 Telex: 572



componentes electrónicos

ITT Standard

66/2P

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

SENHORES
ARQUITECTOS
ENGENHEIROS
EMPREITEIROS
CONSTRUTORES

CALCINA

É hoje em Portugal o melhor ligante hidráulico para argamassas, rebocos e alvenarias.

Prefiram, pois, C A L C I N A

Entregas permanentes de dia e de noite nas Fábricas de Cimento "Tejo" - Alhandra e do "Cabo Mondego" - Figueira da Foz, e através da vasta rede de revendedores espalhados por todo o País

Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

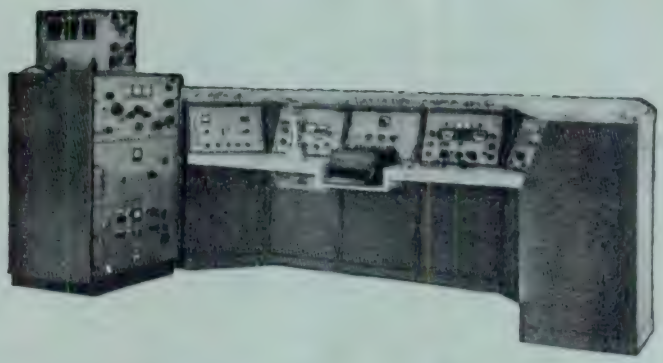
Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.°-LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

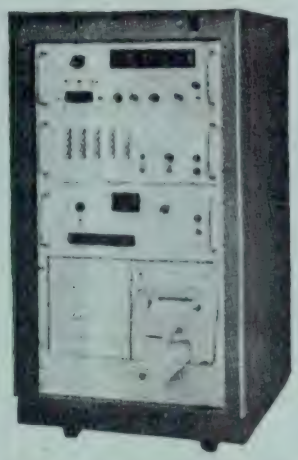
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

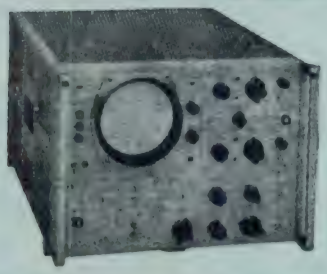
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



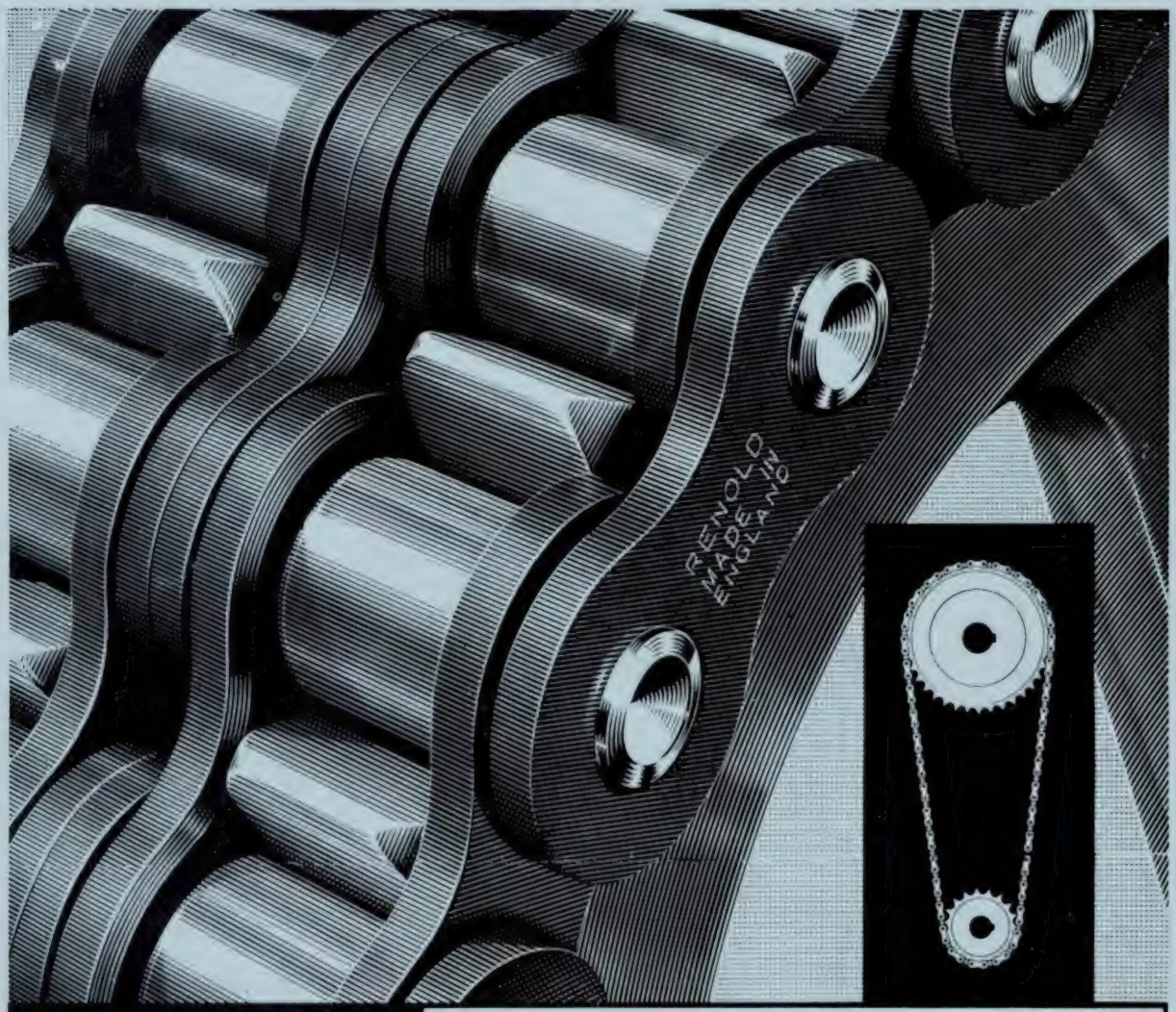
Registador Sanborn



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.



RENOLD

transmissões por corrente de elevado rendimento mecânico

O mais eficiante sistema de transmissão produzido pelos maiores fabricantes do mundo. As correntes RENOLD podem ser fornecidas para transmitirem até 4.250 CV e a gama de 260 transmissões em depósito permite uma entrega imediata que satisfaz a mais de 90% das necessidades da indústria.

Para informações ou fornecimentos, escreva, visite ou telefone:

HARKER, SUMNER & Ca., Lda.

PORTO: **38, Rua de Ceuta, 48**
Apartado No. 162
Tel: 27054-P.P.C. (4 linhas)

LISBOA-2: **14, Largo do Corpo Santo, 18**
Tel: 324823-35124

RENOLD

RENOLD CHAINS LIMITED · MANCHESTER · INGLATERRA

técnica

NUMERO 423 * MAIO DE 1966 * ANO XLI * VOL. XXVIII * DIRECTOR: ASSIS FARINHA MARTINS

EDITORIAL

Os autores de trabalhos de relevo no campo científico-técnico (restringindo-nos ao domínio que neste caso nos interessa) sentem naturalmente o desejo de dar a conhecer a sua obra.

Merecer o reconhecimento da humanidade por um serviço a ela prestado, é o prémio máximo que o cientista, o técnico, pode desejar. E é legítimo.

Mas tal reconhecimento só lhe será manifestado se outros cientistas, outros técnicos — tidos então como os melhores, e portanto únicos juízes autorizados — acharem na obra o valor suposto.

Daí a necessidade dos autores chegarem até eles. Idealmente, o processo é simples: há que escrever na língua que entendem; publicar nas revistas que lêem. Na prática é bastante mais complexo. As razões são evidentes.

Para uma revista, como para os autores, e paralelamente, põe-se problema semelhante. O seu prestígio vem do valor dos trabalhos que publique. A sua divulgação sustenta-se no interesse que for mantendo. Será tanto melhor quanto mais puder penetrar nas «altas esferas» científico-técnicas. Segue-se que também lhe não basta o valor intrínseco (suposto). Tem ainda que se apresentar em linguagem compreensível por quem lho possa atestar.

Da ponderação simultânea de princípios como estes, e outros, resultará a orientação a tomar. Mas sem esquecer a relatividade da posição que se ocupa à partida! Uma revista — como a

TÉCNICA — *é uma obra empreendida ao longo de um* determinado tempo, *num* local preciso, *com o apoio de* um meio *científico-técnico de características bem definidas.*

O objectivo é sempre o mesmo: todas pretendem, em princípio, situar-se entre as melhores no género e publicar os melhores trabalhos dos melhores autores. Porém, é difícil de abordar — particularmente difícil em alguns casos! E nunca depende só dos seus responsáveis próximos. A ciência, ou a técnica, não são um produto da Redacção para distribuir aos consumidores. Provêm dum meio determinado. E as revistas não são mais que mensageiros a quem compete levá-las a outros lugares. Como tal, são fundamentalmente responsáveis pela eficiência da comunicação. Não pelo seu conteúdo. Neste aspecto, só lhes resta a possibilidade de escolher entre as melhores mensagens, se tantas houver.

A revista só se elevará apoiando-se nos seus colaboradores, mas, elevando-se, eleva-os também.

* * *

Depois de consideradas, entre outras, as razões aqui expostas ou implícitas, resolveu a TÉCNICA *passar a publicar, quando for caso disso, originais em inglês e francês, de autores portugueses ou estrangeiros.*

Abrem-se assim novas perspectivas para os autores, quanto à divulgação dos seus trabalhos, na medida em que se busca uma audiência mais vasta e qualificada. Nos moldes actuais tal não seria possível, pelo que foi dito.

Estamos certos de não lesar os interesses da grande maioria dos nossos leitores, que são portugueses, e a quem a Revista continua a ser especialmente dirigida. Deles esperamos críticas e sugestões. Deles é a TÉCNICA.

C. D. U. 531.395:518.5

THE NON-LINEAR PROBLEM

por ANTÓNIO GOUVÊA PORTELA
Prof. I. S. T.

RESUMO

O método proposto tem interesse quando as forças externas actuando no sistema mecânico, variam aleatòriamente, as ligações são descritas por funções não-lineares e discontinuas e finalmente, o objectivo do estudo é a detecção de acontecimentos cuja probabilidade é por vezes bastante pequena.

SYNOPSIS

The method proposed is of interest when the external forces acting on the mechanical system are changing randomly, the bounds are described by discontinuous non-linear functions and finaly, the aim of the study is the detection of occurances the probability of which is sometimes quite small.

O Prof. Eng.º Vasco Costa, ao estudar problemas de amarração de navios de grande tonelagem, propôs um modelo físico de certa complexidade para explicar cabalmente os fenômenos observados.

Porque problemas de natureza idêntica também ocorrem em engenharia mecânica, o referido Professor tomou a iniciativa de dar a oportunidade ao autor de procurar uma solução formal.

Simultâneamente uma solução experimental foi investigada pelo Eng.º Neves da Silva, ainda não publicada.

Um exemplo foi calculado no Centro de Cálculo da Fundação Calouste Gulbenkian.

O método e o exemplo foram apresentados numa das sessões da «Nato Advanced Study Institute» realizadas em Julho de 1965 e em Lisboa, e que foram de iniciativa do Prof. Vasco Costa.

Apresentamos neste número da Técnica *apenas o método.*

Desejamos deixar aqui exarados os nossos agradecimentos:

- *ao Prof. Vasco Costa, que está na origem deste artigo, pelo apoio e entusiasmo que emprestou.*
- *à Direcção do Centro de Cálculo da Fundação C. G. pelas facilidades que deu na execução do cálculo.*
- *aos doutores M. V. Cadete e A. Cadete por todo o trabalho de programação que é uma espinhosa tarefa, e pela paciência revelada na interpretação do método.*

0) INTRODUCTION

It is rather involved to solve formally problems regarding dynamical systems representable in a finite-dimensional phase-space by coordinates x^k and the corresponding momenta $m_{jk}\dot{x}^k$, where $\dot{x}^k$ is the time derivative of x^k, m_{jk} the generalised mass associated to x^k and $j, k = 1, \dots, N$, if the elastic and viscous bounds are given by discontinuous, non-linear functions of x^k, $\dot{x}^k$ and time t.

The following treatment, adaptable to mechanical computation, provides a fairly general solution to such problems and is based on the following considerations:

a) It is easy to establish a recurrance formula to determine the state $(x^k, m_{jk}\dot{x}^k)$ in time t_{i+1}, given the state in time t_i, where de lapse of time $(t_{i+1} - t_i)$ is physicaly small (mathematicaly infinitesimal), and the acting forces are known.

b) If the number of iterations n resulting from successive application of the recurrance formula is not unduly large, the state of the system in time t_n is not unduly affected by computational errors.

c) If the choice of each initial state ($i = 0$) is made randomly and many such initial states are chosen, the coverage of the phase-space to be tested is randomly uniform.

d) Each iteration sequence initiated at a certain point of the phase-space may be considered as a truncated «history» of a dynamical experiment.

e) When a suficient number of the above refered «histories» of dynamical experiments have been obtained, the collection thus formed will be apreciated by a suitable criterium vector. Each element of the criterium vector corresponds to a previously well defined question or measure, and each vector corresponds to a distinct experiment.

f) A statistical analysis can be made of the collection of vectors obtained from the collection of experiments.
The collection of vectors can be considered a statistic based on a small (or large) sample of the Universe under scrutinity.

g) If, by statistical procedure, the sample is found to be small, the same sample can be allways enlarged by randomly choosing new starting points and producing new dynamical experiments.

h) Finaly, if some region of the phase-space is considered of particular interest, the random choice of initial states, can be conditioned to that region and a finer scrutinity of the region can be thus obtained.

The method proposed is of particular interest:

— When the external forces acting on the systems are of a changing nature and a steady-state is never reached by the system.
— When the bounds (elastic and viscous) are described by discontinuous non-linear functions.
— When the aim of the study is the detection of rather improbable occurances or the evaluation of the probability of occurrance of certain types of phenomena, and not a description of the mouvement as such.

A formalised sumary of the method is presented in Chapter V.

I) THE MATHEMATICAL MODEL

The dynamical state of a discrete system in an Eucleadean Space and absolute time can be fully described by N parameters, their N respective time derivatives and time.

Representing by:

x^k $(k = 1,\ldots N)$	The generalised parameter
$\dot{x}^k$ $(k = 1,\ldots N)$	Its first time derivative
A_{kj} $(k,k = 1,\ldots N)$	The inertial Matrix supposed to be always invertible
R_j $(j = 1,\ldots N)$	A generalised viscous force
f_j $(j = 1,\ldots N)$	A generalised elastic force
F_j $(j = 1,\ldots N)$	A generalised external force

It is true, at any time t_i, that:

1.1
$$\lim_{\delta t_i \to 0} [A_{kj}(t_i + \delta t_i) \cdot \dot{x}^k (t_i + \delta t_i) - A_{kj}(t_i) \cdot \dot{x}_k (t_i)] = \lim_{\delta t_i \to 0} [R_j(t_i) + f_j(t_i) + F_j(t_i)] \cdot \delta t_i$$

Which is a straightforward application of the formula $\partial (M \cdot \dot{x}) = F \cdot \partial t$.

Defining $\partial A_{kj} (t_i)$ as:

$$\partial A_{kj} (t_i) = A_{kj} (t_i + \partial t_i) - A_{kj} (t_i)$$

the first member of the equation 1.1. can be restated as follows:

$$\lim_{\delta t_i \to 0} \left\{ A_{kj} (t_i) [\dot{x}^k_{,i} (t_i + \partial t_i) - \dot{x}^k (t_i)] + \partial A_{kj} (t_i) \cdot \dot{x}^k (t_i + \partial t_i) \right\}$$

If $\lim_{\delta t_i \to 0} \partial A_{kj} (t_i)$ is an infinitesimal quantity of greater order than $\lim_{\delta t_i \to 0} [x_k (t_i + \partial t_i) - \dot{x}^k (t)]$ then $\partial A_{kj} (t_i) \cdot x^k (t_i \to \partial t_i)]$ can be negleted and the first member of the equation takes the reduced form of:

$$\lim_{\delta t_i \to 0} \left\{ A_{kj} (t_i) [\dot{x}^k (t_i + \partial t_i) - \dot{x}^k (t_i)] \right\}$$

Physically, this implies that $A_{kj} (t_i)$ varies slowly with time compared with $\dot{x}^k$ variation with time.

We will use the simplified expression 1.1′ to describe the method:

$$1.1') \quad \lim_{\delta t_i \to 0} A_{kj} [\dot{x}_k (t_i + \partial t_i) - \dot{x}_k (t_i)] = \lim_{\delta t_i \to 0} [\overline{R}_j (t_i) + \overline{f}_j (t_i) + \overline{F}_j (t_i)] \cdot \partial t_i$$

where:

a) $\overline{R}_j$, $\overline{f}_j$ and $\overline{F}_j$ are averages of R_j, f_j and F_f computed in the interval ∂t_i, as for instance, with a Stieltjes measure:

$$\frac{\oint_{t_i}^{t_i + \delta t_i} R_j \, dt}{\oint_{t_i}^{t_i + \delta t_i} dt} = \overline{R}_j$$

$\oint$ is the symbol for the Stieltjes integral

b) $\partial t_i = t_{i+1} - t_i$ and, in general, $\partial t_i = \partial t_k$ for all i and k, with: $|i|, |k| = 0,1 \ldots N$.

c) A_{kj} is invariant (or slowly variable with time) and invertible.

The expression (1.1′) can be presented in the following form:

$$1.2) \quad \lim_{\delta t_i \to 0} [\dot{x}^k (t_i + \partial t_i) - \dot{x}^k (t_i)] = \overset{-1}{A_{kj}} \lim_{t_i \to 0} (\overline{R}_j + \overline{f}_j + \overline{F}_j) \cdot \partial t_i$$

(1.2) permits the computation of $\dot{x}_k$, in time $t_i + \partial t_i$ if $\dot{x}^k$ in time t_i, is known.

The computation of x^k is readily made:

$$1.3) \quad x^k (t_i + \partial t_i) = x^k (t_i) + \frac{\dot{x}^k (t_i + \partial t^i) + \dot{x}^k (t_i)}{2} \cdot \partial t_i$$

If the initial state is given (i = o), $\left[x_k (t_o), \dot{x}^k (t_o) \right]$, and all the acting forces are known, it is possible, using formulas 1.2 and 1.3 to compute, step — wise, the state of the dynamical system.

The interval ∂t_i should be kept small to reduce errors which accumulate as i grows.

II) DESCRIPTION OF THE FUNCTIONS F, f, R.

The functions f, F and R may take many forms and the functions presented in Chapter II), have to be considered as typical exemples, used to describe the method and to show its power and flexibility.

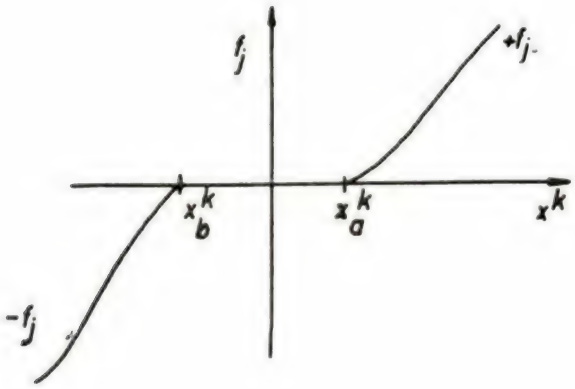
1) *Function* F_j:

F_j depends on time (t_j) only, and has the general form of:

2.1) $$F_j(t_j) = \sum_{r=1}^{n} G_r \cos(\omega_r t_j + \alpha_{rj})$$

$$n = 1, \ldots [\infty$$

The formula 2.1) is sufficiently general to describe the *external forces* encountered in most of the real cases.



2) *Function* f_j

Function f_j will be described in three parts or intervals:

$$x^k > x_a^k \longrightarrow f_j(x,t) = +f_j[(x^k - x_a^k), t]$$

$$x_b^k \leq x^k \leq x_a^k \longrightarrow f_j(x,t) \equiv 0 \qquad 2.2)$$

$$x^k < x_b^k \longrightarrow f_j(x,t) = -f_j[(x^k - x_b^k), t]$$

with $x_a^k > x_b^k$

The above set of conditions implies that it is given:

a) a functional Matrix $\{+f_j[(x^k - x_a^k), t]\}$ 2.3)
$j,k = 1 \ldots N$, with N^2 functions $+f_j[(x^k - x_a^k), t]$

b) a functional Matrix $\{-f_j[(x^k - x_b^k), t]\}$ 2.4)

again with N^2 functional elements.

c) The functions,

$$\begin{cases} x_a^k = x_a^k(x^1, \ldots, x^N) \\ x_b^k = x_b^k(x^1, \ldots, x^N) \end{cases} \qquad k = 1, \ldots, N$$

that is, a functional Matrix of the form:

$$[x_a^k(x^j)] \qquad 2.5)$$

$x_a^k - x_b^k$ may be called the *clearance*, and $x_a^k > x_b^k$.

Although any other description could have been chosen, it was felt that for $+f_j$ and $-f_j$, a function with the following form could be adopted:

$$+f_j\,[(x^k - x_a^k),\ t] = \sum_{r=1}^{p} a_r\,(x^k - x_a^k)^r \qquad 2.6)$$

$$-f_j\,[(x^k - x_a^k),\ t] = \sum_{r=1}^{q} b_r\,(x^k - x_b^k)_r \qquad 2.7)$$

(Polynomial form)

with $r = 1, \ldots [\infty$.

Regarding $[x_a^k\,(x^j)]$, the expression has to be established in each case according to the geometry of the problem.

3) *Function* R_j:

Again R_j can be treated as f_j.

The choice of $R^j\,(\dot{x})$ is made in accordance with each problem.

Note 1: Not knowing the geometry of the System, the following expression may be adopted instead:

$$\left\{\begin{array}{ll} x_a^k = \sum_{l=1}^{m} H_l \cos\,(\omega_l\, t + \alpha_{Kl}) & 2.8) \\ x_b^k = \sum_{g=1}^{s} H_g \cos\,(\omega_g\, t + \alpha_{gk}) & 2.9) \end{array}\right.$$

with $m,\ s, = 1, \ldots [\infty$.

III) DESCRIPTION OF THE COMPUTATIONAL METHOD

The mathematical model of the dynamical System was described and it was shown how to compute the state of the System in time t_{i+1}, if it is known the state in time t_i and the applied forces during the time internal $(t_{i+1} - t_i)$.

Chapter III. is devoted to describe:

a) The choice of the initial state
b) The criterium-vector
c) The statistical treatment of the data collected

a) *The choice of the initial state*

a_1) Each problem is defined by 4 sets of parameters with relation to:

The dynamical sistem:

$$\begin{array}{lll} A_{kj} & & \\ +f & {}_0f & -f \\ +R & {}_0R & -R \\ D_{máx}^k = máx & |\,x^k - x_a^k\,| & \text{with } x^k > x_a^k \\ d_{máx}^k = máx & |\,x^k - x_b^k\,| & \text{with } x^k < x_b^k \end{array} \qquad 3.1)$$

The external Force:

$$\left\{\begin{array}{l} G_r \\ \omega_r \end{array}\right. \quad r = 1, \ldots n \qquad 3.2)$$

The clearence (x_a^k *and* x_b^k) :

Taking in account Note 1, x_b^k and x_b^k are defined by :

$$3.3)\quad \begin{cases} \left\{ \begin{matrix} H_l \\ \omega_l \end{matrix} \right\} 2.8 & l = 1, \ldots m \\ \left\{ \begin{matrix} H_g \\ \omega_g \end{matrix} \right\} 2.9 & g = 1, \ldots s \end{cases}$$

The remaining parameters, α_{rj}, α_k, α_{kg} and $x_k(t_o)$, $\dot{x}^k(t_o)$ are treated as random variables defining the initial state.

a_2) The computer memorises all the information referred in 3.1, 3.2 and the randomly obtained T sets of α_{rj}, α_k, α_{kg}, $x^k(t_o)$ and $\dot{x}^k(t_o)$ are punched beforehand and the computer memorises one set at a time and runs a test and prints out the *programmed information* (See : criterium vector b)) and proceeds to the next set, till all the T sets are processed.

a_3) The random variables above refered to, are chosen in the following intervals :

$\alpha_{rj}\ \alpha_{kl}\ \alpha_{kg}$: in the interval $(0, 2\pi)$

$\left.\begin{matrix} x^k(t_o) \\ \dot{x}^k(t_o) \end{matrix}\right\}$ in the interval to be tested

a_4) One important factor is the counting of the cycles. This is made by verification of a succession of the following ordered pair of inequalities :

$$3.4)\quad \begin{matrix} x^k(t_i) < x_b^k(t_{i+1}) \\ \text{and} \\ x^k(t_{i+r}) > x_b^k(t_{i+r}) \end{matrix}$$

b) *The criterium vector*

To exemplify a criterium vector, let us admit that the problem consists in studying the breakage of the elastic bounds and it is assumed that this ocurrance takes place when their deformation is greater than a certain predetermined limit.

The computer is programmed to stop each run when one of the three occurences is fulfilled :

1) $$|x^k(t_i) - x_a^k(t_i)| > D_{max}^k \qquad 3.5)$$
$$(x^k > x_a^k)$$

or

2) $$|x^k(t_i) - x_b^k(t_i)| > d_{max}^k \qquad 3.6)$$
$$(x^k < x_b^k)$$

or

3) The number of cycles exceeds L, where L is a predefined constant.

At the and of each run the computer prints out the following information :

— What was the reason [1), 2) ou 3)] that caused the stoppage

— If the third reason, the max $|x^k - x_a^k|$ and max $|x^k - x_b^k|$

and the times (t_i, t_j) when these maxima have taken place.

c) *The statistical treatment of the data collected*

After T runs, the T sets of random variables have been successively introduced and sets of information were printed out (or punched out).

The next problem is to treat the date obtained by statistical method and to study the results. This is a straightforward operation which is not described here.

Final remarks

Now the question arises why not simply run the computer with some pre-set data till some kind of steady-state regime is attained.

The reasons are:

- The errors of computational origin would accumulate. It is better to start with fresh random variables and run short trials.
- A steady-state may never be attained, as the external forces are constantly changing.
- The coverage of the unknown universe is more uniform, recurring to random sampling.
- The system may have more than one stable modes of vibration disconnected between themselves due to the nonlinearity of the bounds and in that case from one region the other could never be attained.

IV) APPLICATION TO A ONE DIMENSIONAL PROBLEM

The feasibility of the method can be tested with a one-dimensional problem and this chapter was written to this effect.

To reduce the number of steps, that is, to increase δt_i without unduly increasing the com putational errors, the following alterations were introduced.

4.1)
$$\dot{x}^k(t_{i+1}) = \dot{x}^k(t_i) + \ddot{x}^k(t_i) \,.\, \delta t_i$$

$$\text{but } \ddot{x}^k(t_i) = \frac{\ddot{x}^k(t_i) - \ddot{x}^k(t_{i-1})}{\delta t_i}$$

$$\dot{x}^k(t_{i+1}) = 2\,\dot{x}^k(t_i) - \dot{x}^k(t_{i-1})$$

4.2)
$$\frac{\dot{x}^k(t_{i+1}) + \dot{x}^k(t_i)}{2} = \frac{1}{2}\,(3\,\dot{x}^k(t_i) - \dot{x}^k(t_{i-1})$$

4.3)
$$x^k(t_{i+1}) = x^k(t_i) + \frac{\dot{x}^k(t_{i-1}) - \dot{x}^k_{i}(t_i)}{2} \,.\, \delta t_i$$

$$= x^k(t_i) + \left(3\dot{x}^k(t_i) - \dot{x}^k(t_{i-1})\right) \frac{\delta t_i}{2}$$

4.4)
$$\overline{f}_j(t_i) = \frac{1}{2}\left(f_j(t_i) + \underline{f}_j(t_{i+1})\right)$$

4.5)
$$\overline{R}_j(t_i) = \frac{1}{2}\left(R_j(t_i) + \underline{R}_j(t_{i+1})\right)$$

4.6)
$$\overline{F}_j(t_i) = \frac{1}{2}\left((F_j(t_i) + \underline{F}_j(t_{i+1})\right)$$

The underlined symbols have the following significance:
If S (t_i) is a symbol than

$$\lim_{\delta t_i \to 0} \underline{S}\ (t_i) \to S\ (t_i)$$

The *overlined* symbols mean averages (in this case linear averages).

The interval δt_i was established in such a way that, after L cycles, the results with δt_i, $2.\ \delta t_i$, $\frac{1}{2}\ \delta t_i$ were equivalent, that is, the first two figures matched.

V) FORMALISED SUMARY OF THE METOHD

1) The dynamical state of a mechanical system is representable in the phase-space by the ordered pair of vectors $[x^k\ (t)\ ,\ A_{jk}\ (t)\ \dot{x}^k\ (t)]$

Where:

$x^k\ (t)$ is the generalised coordinate

$A_{jk}\ (t)\ \dot{x}\ (t)$ is the generalised momentum

and

$A_{jk}\ (t)$ is the inertial matrix, allways invertible

$\dot{x}^k\ (t)$ is the time derivative of $x^k\ (t)$

t is the absolute time

$j, k = 1, \ldots N$, the N coordinates, with $N < \infty$

The applied force to the inertial system is symbolised by $\Psi_j\ (t)$ and $j = 1, \ldots N < \infty$

We note that $\Psi_j\ (t) \equiv \Psi_j\ [x\ (t),\ \dot{x}\ (t),\ t]$

2) The momentum conservation law, in its generalised form, can be described by the following expression:

$$\delta\ [A_{jk}\ (t)\ .\ \dot{x}^k\ (t)] = \Psi_j\ (t)\ .\ \delta\ t \quad \ldots \quad a)$$

It is also true that: $x^k\ (t) = \dot{x}^k\ .\ \delta\ t \quad \ldots \quad b)$

Conjugating expressions a) and b), it is possible to evaluate state

$$[x^k\ (t + \delta\ t),\ A_{jk}\ (t + \delta\ t)\ \dot{x}^k\ (t + \delta\ t)\ ]$$

if it is given:

$$[x^k\ (t),\ A_{kj}\ (t)\ x\ (t)\ ] \quad \text{and} \quad \Psi_j\ (t + \delta\ t),\ \Psi_j\ (t),\ A_{jk}\ (t + \delta\ t),\ A_{jk}\ (t).$$

3) Generalising the application of a) and b) successively, the general operator O_R establishes the following relation:

$$[\ x^k(t + R.\ \delta t),\ A_{jk}(t + R\delta t).\ \dot{x}_k\ (x + R\delta t)\ ] =$$
$$= O_R[(x^k\ (t),\ A_{jk}(t).x^k\ (x), \psi_j(t), \ldots, \psi_j(t + R.\delta t), A_{jk}(t), \ldots, A_{jk}(t + R.\ \delta\ t)] \quad \ldots \quad c)$$

and $R = 0,1,2, \ldots S$ and S is given a priori.

4) Randomly, τ initial states are chosen.
Each initial state is described by a pair of vectors

$$P_{s,o} = [\ x^k(t), A_{jk}(t).\ \dot{x}^k\ (t)]$$

and $s = 1, \ldots \sigma < \infty$

Using repeatedly the operator O_R, S pairs $P_{s,R} = [x^k(t + R\partial t), A_{jk}(t + R.\partial t).\ x^k(t + R.\partial t)]$ are computed out of each initial state $P_{s,o}$ and the set $P_s = \{P_{s,R} : R = 0,1, \ldots S\}$ is formed

Finaly the collection of sets $\pi = \{P_s : s = 1, 2, \ldots . \sigma\}$

contains σ sets P_s each containing $S + 1$ pairs $P_{s,R}$.
We shall denote by:
— Experiment, each set P_s
— Story of the experiment (s), the $S + 1$ pairs $P_{s,R}$ / S
— Sample, the collection π of σ experiments.

5) *A criterium vector* $\{\delta_v = \delta_v : v = 1, \ldots V\}$ is chosen in accordance to the particular problem to be solved.

Each element $\delta_v \in \{\delta_v\}$ is *a measure* defined on the set $U\pi$, of all samples that can be taken out of the Universe of pairs $[x^k, A_{jk}\ \dot{x}^k]$.

No restriction is made regarding the nature of the measures δ_v, outside their definition on the set $U\pi$, they can be so simple as a binary measure (true or false with respect to a certain proposition) or discrete or dense measure.

6) Each pair $P_{s,R} \in \pi$ is measured by means of the criterium-vector $\{\delta_v\}$ and the corresponding measure-vector E_{vsR} is evaluated.

The set $E_{v,s} = \{E_{vsR} : R = 0,1, \ldots S\}$ is the set of measure-vectors of the set P_s.

The collection of sets $E_v = \{E_{x,s} : s = 1, \ldots \sigma\}$ is the collection of sets of measures-vectors of the sample.

The sample π is now fully and completely measured by means of an uniform criterium-vector $\{\delta_v\}$ and a collection of sets E_v of mesure-vectors was obtained.

7) As the sample of the initial states was randomly obtained, statistical methodology can be correcty applied to E_v.

This last operation is not described here, as it is quite straightforward and a standard method.

CORRECÇÃO—TÉCNICA 357

Por lapso saíram trocadas a última figura da página 368 com a primeira da página 369. Pelo facto apresentamos as nossas desculpas.

C. D. U. 621.311.5/91

ELEMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL (*)

ABRIL

I — Breve nota mensal

Em contraste com o sucedera no mês de Março, as precipitações ocorridas em Abril foram muito superiores aos respectivos valores médios, sobretudo nas duas primeiras décadas do mês.

O caudal afluente aos aproveitamentos do Douro Internacional foi igualmente superior (em cerca de 50 %) ao correspondente valor médio.

As afluências ao conjunto do sistema, verificadas durante o mês de Abril, têm uma probabilidade de serem excedidas de apenas cerca de 2 %; o coeficiente de produtibilidade hidroeléctrica do mês atinge 1,66.

As afluências acumuladas desde o início do ano hidrológico continuam a ser das mais favoráveis de todo o período para que se dispõe de registos.

Os descarregamentos nas albufeiras, que haviam terminado durante o mês de Março, voltaram a verificar-se durante o mes de Abril, pràticamente generalizados a todas as albufeiras. Mantiveram-se os descarregamentos nos aproveitamentos a fio de água, nomeadamente nos do Douro Internacional.

II — Elementos gerais (GWh)

Acumulados desde 1 de Janeiro

	a) Mensais 1965	a) Mensais 1966	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	1366,4	1784,6	+ 31
Produção térmica (P_t)	142,8	0,0	— 100
Produção total (P_T)	1509,2	1784,6	+ 18
Energia recebida de empresas não pertencentes ao RNC (E_r)	13,2	17,9	+ 36
Exportações (Ex)	1,0	0,0	— 100
Importações (I)	60,2	0,0	— 100
Saldo importador (S_I)	+59,2	0,0	— 100
Consumo em bombagem (C_b)(1)	6,8	46,7	+ 587
Produção para consumos perman. (P_{cp}) (2) . .	1417,7	1456,1	+ 2,7
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . . .	157,1	299,7	+ 91
Total	1581,6	1802,5	+ 14
Coeficiente de hidraulicidade	0,82	1,70	—

NOTAS

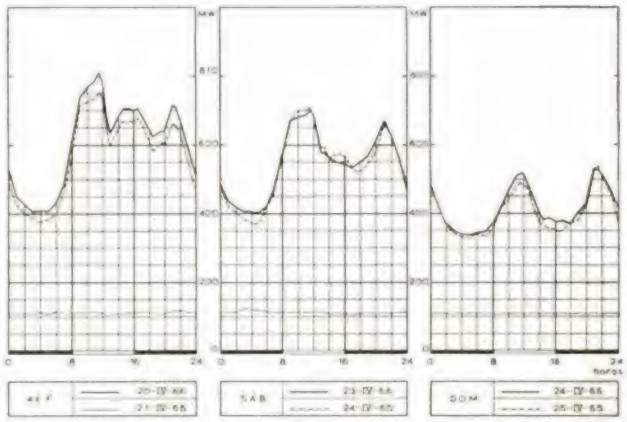
(1) Energia consumida em bombagem para armazenamento na Albufeira do Alto Rabagão.

(2) A produção para consumos permanentes (P_{cp}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{cp} = P_T + E_r + S_I - C_b - P_{cnp}$

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª feira: 1965	4.ª feira: 1966
Produção hidráulica		(P_h) MWh	14056	14859
Produção térmica		(P_t) MWh	0	0
Produção total		(P_T) MWh	14056	14859
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	0
	Import.	(I) MWh	0	0
Consum em bomb. hidroel.		(C_b) MWh	100	0
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	11388	12279
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	2568	2580
TOTAL		$P_T + (I-Ex)$ MWh	13956	14859
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência máx. MW	754	810
		Potência mín. MW	377	404
		Utiliz. da ponta horas	18,5	18,3
		Factor de carga	0,77	0,76
	P_{cp}	Potência máx. MW	643	701
		Potência mín. MW	269	299
		Utiliz. da ponta horas	17,7	17,5
		Factor de carga	0,74	0,73

III — Diagramas de carga dos dias característicos



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês GWh	No fim do mês % (1)
Alto Rabagão	973,1	100,0
Paradela	222,4	100,0
Venda Nova	127,6	99,7
Salamonde	27,4	99,3
Caniçada	32,6	98,5
Vilar	92,6	100,0
Cabril	334,6	98,6
Castelo do Bode	160,7	98,6
Guilhofrei	7,1	97,6
Lagoa Comprida	31,4 (2)	95,6
Santa Luzia	61,6	100,0
Pracana	12,4	96,1
Póvoa	13,0 (3)	99,0
Total { com A. Rabagão . . .	2097,5	99,5
Total { sem A. Rabagão . . .	1124,4	99,0

NOTAS

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 2,7 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 3,3 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 2,7 GWh armazenados no açude do Poio no início do mês e 2,7 GWh no fim do mês.

(*) *Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.). As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

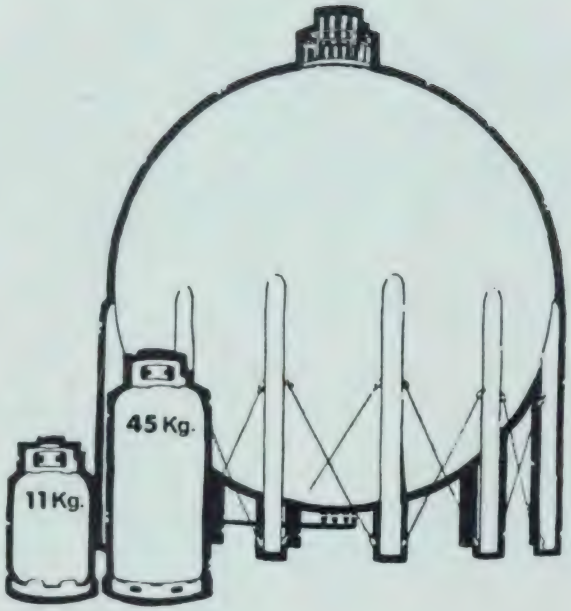
MAGUE

GUINDASTE ELECTRICO DE 50t/16m - 25t/30m EM SERVIÇO NAS OBRAS DE MELHORAMENTO DO PORTO DA POVOA DE VARZIM.

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

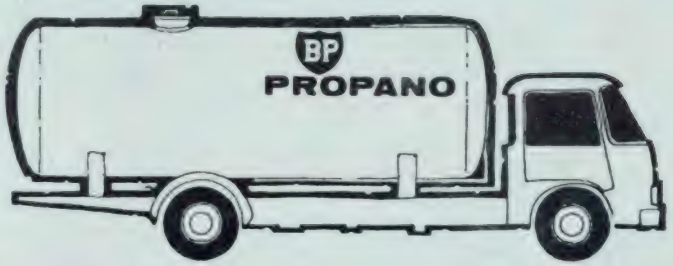
CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL



PROPANO
energia para a indústria

abastecimentos em garrafas de 11kg, 45kg e a granel



seja qual for
o seu
tipo de indústria
os nossos serviços
técnicos
estão ao seu dispor
para
estudar e projectar
a instalação
e aplicação
do BP propano

garantia de larga experiência

COMPANHIA PORTUGUESA DOS PETRÓLEOS BP
Praça Marquês de Pombal, n° 13, Lisboa - tel. 539531

C. D. U. 621.313.13.017.71

O AQUECIMENTO DOS MOTORES ELÉCTRICOS UTILIZADOS EM REGIME VARIÁVEL

por DOMINGOS MOURA
Eng.º Dipl.
1.º Assistente do I. S. T.

SUMÁRIO

O artigo começa por recordar a forma da função $\theta(t)$ num motor eléctrico que trabalha em regime variável e depois discute a validade do método do «valor eficaz».

Apresenta um método gráfico para o cálculo da energia de perdas durante o regime variável e nota que as perdas durante o arranque podem falsear a estimativa do acréscimo de temperatura.

SUMMARY

This paper reminds the shape of the function $\theta(t)$ in an electrical motor running at non-continuous rating, and then examines the validity of the «r.m.s.value» method.

The paper presents a graphical method for the computation of the energy losses during a variable cycle. It also notes that the losses during the starting time can distort the evaluation of the temperature rise.

A matéria que a seguir se expõe faz parte das lições sobre «A utilização dos motores eléctricos» que no presente ano lectivo se incluiram no programa da 35.ª Cadeira (Curso Geral de Máquinas Eléctricas).

Embora se trate apenas de uma exposição sistematizada de matéria que se encontra dispersa, julga-se que a publicação do presente artigo na TÉCNICA interessará os engenheiros que se ocupam da instalação de equipamentos para força motriz industrial.

1. INTERESSE DO REGIME VARIÁVEL

Um motor eléctrico funciona em regime variável quando entrega uma potência útil no veio de valor variável ao longo do tempo de funcionamento.

Ao contrário do que acontecia nas antigas electrificações industriais são hoje muito frequentes os motores que trabalham em regime variável: em muitas máquinas ferramentas, na maioria dos sistemas de elevação e, de um modo geral, na maioria dos equipamentos fabris com accionamento individual.

Não é o objectivo deste artigo discutir vantagens e inconvenientes dos comandos eléctricos individuais. Apenas se nota que usá-los corresponde a substituir transmissões mecânicas por transmissões eléctricas e as vantagens destas últimas não precisam de ser relembradas. Mas nos accionamentos individuais não há a sobreposição de ciclos diferentes que regularizava a carga sobre os antigos veios gerais. Estamos no domínio dos motores eléctricos funcionando em regime variável e por isso o estudo desse regime tem interesse para quem, actualmente, projecte a utilização de motores eléctricos.

A Recomendação 302 (Capítulo 3) da Publicação 34-1 (1960) da Comissão Electrotécnica Internacional (Recomendações para máquinas eléctricas girantes) (1) distingue três classes de regime variável: o regime temporário (short-time rating); o regime para serviço periódico (rating for periodic duty); o regime para serviço permanente com carga intermitente (rating for continuous duty with intermittent load). Quer no serviço periódico, quer no serviço permanente com carga intermitente se anula a potência útil no veio do motor durante certos intervalos de tempo. Mas a essa anulação da potência útil no

(1) As publicações da Comissão Electrotécnica Internacional podem ser consultadas na Biblioteca da Repartição de Normalização da Inspecção-Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais (Av. Berne, 1, Lisboa).

veio corresponde — pelas definições da C. E. I. — a desligação do motor da rede no «serviço periódico» enquanto que no «serviço permanente com carga intermitente» o motor continua a rodar em vazio apenas se anulando o binário resistente exterior.

Ora durante o funcionamento em vazio continua a haver perdas mecânicas, magnéticas e de joule, e mantêm-se as condições de ventilação. A situação é diferente quando se desliga o motor e por isso é importante em cada caso definir com precisão o regime variável que se espera.

Na figura 1 representam-se os diagramas de carga correspondentes aos diferentes regimes que se acabam de referir.

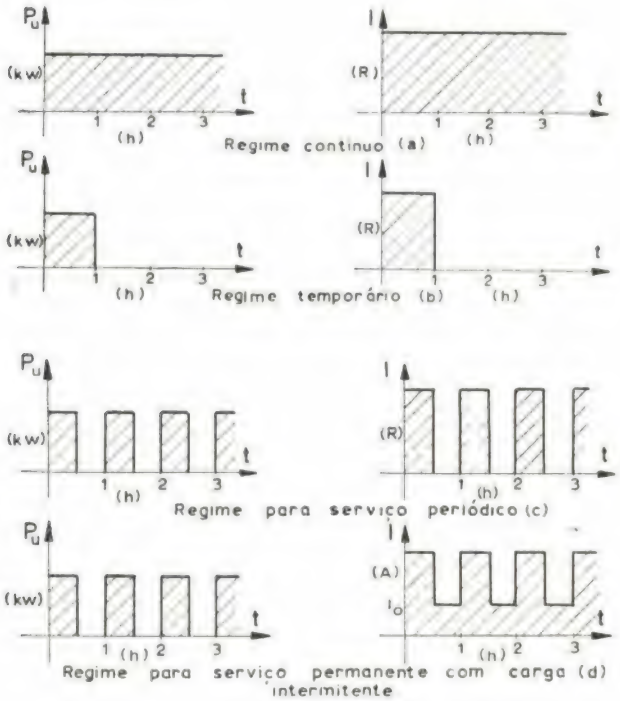


Fig. 1

A potência nominal dos motores eléctricos que habitualmente se encontram no mercado é definida para um regime contínuo. Quando o motor for submetido a um regime variável é necessário prever se o regime variável pode ser realizado sem que o motor aqueça perigosamente.

Antes de apresentar a definição de um regime contínuo equivalente a um dado regime variável é vantajoso recordar como varia a temperatura de um motor quando em funcionamento. É o que se fará na alínea seguinte.

2. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE UM MOTOR EM REGIME VARIÁVEL

Da energia eléctrica que um motor recebe da rede uma parte transforma-se em energia mecânica, outra parte transforma-se em calor: calor devido a perdas mecânicas, a perdas nos circuitos magnéticos e perdas nos circuitos eléctricos.

A energia calorífica de perdas ΔQ ou aquece o motor ou é transmitida ao meio refrigerante. O calor transmitido aumenta com a superfície A de contacto com o meio refrigerante e com a diferença de temperatura θ entre essa superfície e o meio refrigerante. Se considerarmos o motor como um corpo de massa m e calor específico c, podemos escrever:

$$\frac{\Delta W}{J} = \Delta Q = m.c.\Delta\theta + K.A.\theta.\Delta t \qquad (1)$$

em que:

ΔW — energia perdida (joule) durante o tempo Δt.

J — equivalente mecânico do calor (4,18 joule. caloria^{-1}).

ΔQ — energia perdida (caloria) durante o tempo Δt.

m — massa do corpo (grama).

c — calor específico (caloria . grama^{-1}. grau C^{-1}).

$\Delta\theta$ — variação da temperatura (grau C) durante o tempo Δt.

K — calor transmitido ao ambiente por unidade de superfície, de tempo e de acréscimo de temperatura (caloria. centímetro^{-2}. segundo^{-1}. grau C^{-1}).

A — superfície de contacto com o ambiente (centímetro^2).

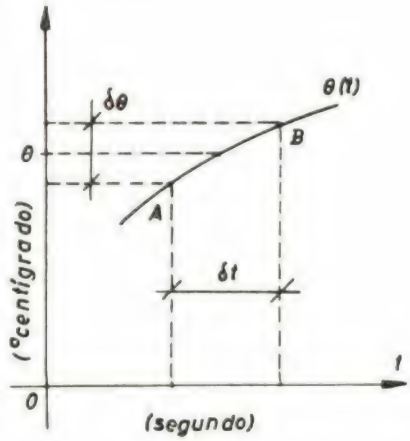


Fig. 2

θ — acréscimo de temperatura acima da temperatura ambiente (grau C).

Δt — tempo de aquecimento (segundo).

A equação 1 supõe:

— que é igual a variação da temperatura $\Delta\theta$ em todos os pontos do corpo, durante o intervalo Δt.

— que o coeficiente K é independente da temperatura θ.

— que o intervalo Δt é suficientemente pequeno para que tomar a temperatura média θ constante, nesse intervalo, introduza um erro desprezável.

Nas condições em que, normalmente, se processa o aquecimento dos motores eléctricos os erros introduzidos pela inexatidão das hipóteses 1ª e 2.ª são pequenos. Acresce que para o utilizador dos motores eléctricos apenas interessa, na maior parte dos casos, uma ordem de grandeza das variações da temperatura em função do regime de carga, pois a definição do próprio regime de carga é feita, quase sempre, numa faixa de apreciável dispersão do plano (T_u, n), das características mecânicas.

A equação 1 pode escrever-se

$$\frac{\Delta W}{J \Delta t} = m c \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + K A \theta \qquad (2)$$

que na potência calorífica de perdas ($\Delta W/J\Delta t$) distingue dois termos: a potência de aquecimento do motor ($mc\Delta\theta/\Delta t$) e a potência transmitida ao meio ambiente ($KA\theta$) (valores médios).

Para um processo de aquecimento evoluindo contìnuamente no tempo é válida a equação diferencial

$$\frac{\Delta P}{J} = \frac{1}{J} \frac{dW}{dt} = m c \frac{d\theta}{dt} + K A \theta \qquad (3)$$

em que ΔP é a potência de perdas (watt), suposta constante, e cujos coeficientes mc, KA e $\Delta P/J$ se consideram constantes de acordo com as hipóteses feitas.

A equação característica de 3 é

$$m c p + K A = O \qquad (4)$$

logo

$$p = -\frac{KA}{mc}$$

sendo a função θ (t) que satisfaz a equação 3

$$\theta = B e^{pt} + C = B e^{-\frac{KA}{mc} t} C + \qquad (5)$$

em que θ é o acréscimo de temperatura acima da temperatura ambiente.

As constantes B e C são determinadas pelo estado do sistema nos limites do tempo. Sendo

$$\left| \begin{array}{l} t = 0 \\ \theta = 0 \end{array} \right. \qquad \left| \begin{array}{l} t = \infty \\ \theta = \theta_f \end{array} \right.$$

obtém-se

$$B = -\theta_f$$
$$C = \theta_f$$

e finalmente, substituindo em 5,

$$\theta = \theta_f - \theta_f e^{-\frac{KA}{mc} t} = \theta_f \left[1 - e^{-\frac{KA}{mc} t} \right] \qquad (6)$$

Quando se atinge a temperatura final θ_f, que corresponde ao estado de equilibrio térmico entre o corpo aquecido e o meio ambiente a derivada $d\theta/dt$ anula-se e da equação 3 conclui-se

$$\frac{\Delta P}{J} = K A \theta_f$$

ou

$$\theta_f = \frac{\Delta P}{K A J} \qquad (7)$$

e a expressão 6 pode-se escrever

$$\theta = \frac{\Delta P}{K A J} \left[1 - e^{-\frac{KA}{mc} t} \right] \qquad (8)$$

Decorrido um tempo $T_c = m\ c/K\ A$ atinge-se uma temperatura θ' tal que

$$\theta' = \theta_f \left[1 - e^{-1} \right] = 0{,}63\ \theta_f \qquad (9)$$

sendo o tempo T_c a «constante de tempo».

Conclui-se que o aquecimento do motor é representado pela função

$$\theta = \theta_f \left[1 - e^{-\frac{t}{T_c}} \right] \qquad (10)$$

em que

$$\theta_f = \frac{\Delta P}{J K A} \qquad (11)$$

$$T_c = \frac{m c}{K A} \qquad (12)$$

sendo θ e θ_f medidos em graus centígrados e T_c em segundos.

O arrefecimento obedece, também, à equação diferencial 3, mas são diferentes os estados do sistema nos limites do tempo.

A equação 3 pode-se escrever

$$\frac{\Delta P}{J} - m c \frac{d\theta}{dt} = K A \theta \qquad (13)$$

notando que durante o arrefecimento $d\theta/dt$ é negativo.

A equação 13 significa: «durante o arrefecimento a potência calorífica cedida ao ambiente ($K A \theta$) é igual à potência calorífica de perdas ($\Delta P/J$) acrescida da potência calorífica, fornecida pelo corpo, devida ao seu arrefecimento ($-mc\, d\theta/dt$)».

A função θ (t) que satisfaz à equação 13 é da forma

$$\theta = B e^{pt} + C \qquad (14)$$

e sendo a equação característica, tal como em 4)

$$-mcp = KA$$

obtém-se, igualmente,

$$p = -\frac{KA}{mc}$$

e portanto

$$\theta = B e^{-\frac{KA}{mc}t} + C \qquad (15)$$

Sendo θ_i e θ'_f os acréscimos de temperatura sobre a temperatura ambiente nos instantes inicial ($t = 0$) e final ($t = \infty$),

$$\left| \begin{array}{l} t = 0 \\ \theta = \theta_i \end{array} \right. \qquad \left| \begin{array}{l} t = \infty \\ \theta = \theta'_f \end{array} \right.$$

obtém-se

$$B = \theta_i - \theta'_f$$

$$C = \theta'_f$$

e finalmente, substituindo em 15,

$$\theta = \theta'_f + (\theta_i - \theta'_f)\, e^{-\frac{KA}{mc}t} \qquad (16)$$

em que, também como em 7,

$$\theta'_f = \frac{\Delta P}{K A J}$$

No caso particular da potência calorífica de perdas $\Delta P/J$ se anular durante o arrefecimento o estado final satisfaz a

$$\left| \begin{array}{l} \theta'_f = 0 \\ t = \infty \end{array} \right.$$

e a expressão 16 simplifica-se para

$$\theta = \theta_i\, e^{-\frac{KA}{mc}t} = \theta_i\, e^{-\frac{t}{T_c}}$$

em que, tal como em 12, a constante de tempo T_c vale

$$T_c = \frac{mc}{KA}$$

Na fig. 3 representa-se a variação da temperatura durante o aquecimento (expressão 10) e durante o arrefecimento (expressão 16).

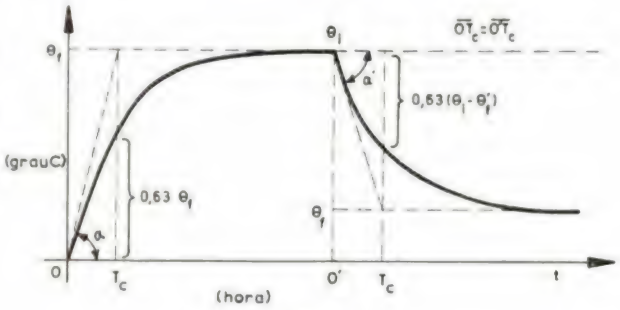


Fig. 3

A derivada $d\theta/dt$, para $t = 0$, é igual à tangente trigonométrica do ângulo α definido pela tangente à curva θ (t) na origem e eixo dos tempos (fig. 4), se as unidades de temperatura e tempo forem medidas pelo mesmo comprimento.

Da expressão 10 obtém-se a derivada

$$\frac{d\theta}{dt} = \theta_f \frac{1}{T_c} e^{-\frac{t}{T_c}}$$

que para $t = 0$, vale

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\theta_f}{T_c} \qquad (17)$$

Anàlogamente, da expressão 16 obtém-se a derivada

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0} = -\frac{\theta_i - \theta'_f}{T_c} \qquad (18)$$

O conhecimento do coeficiente angular das tangentes na origem facilita o traçado das curvas θ (t), (fig. 4).

Convém notar que com o motor parado as condições de ventilação são piores do que com o motor em marcha. Logo o coeficiente K é dife-

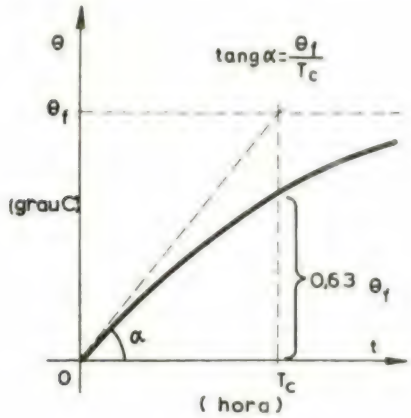


Fig. 4

rente e diferentes serão as constantes de tempo T_c. De uma publicação da ACEC transcrevem-se os seguintes valores:

QUADRO 1

Motores de indução trifásicos de média potência	Valores de Tc (minuto)	
	motor em marcha	motor parado
Construção aberta	18 a 30	105 a 150
Dupla carcassa	30 a 45	150 a 210

O acréscimo de temperatura em relação à temperatura inicial quando se atinge o estado final de equilíbrio térmico varia linearmente com a potência de perdas ΔP (expressão 7). Portanto, para o equecimento, a expressão 7 permite concluir que

$$\theta_{f_2} = \theta_{f_1} \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \qquad (19)$$

em que θ_{f_2} e θ_{f_1} são os acréscimos de temperatura quando as potências de perdas são ΔP_1 e ΔP_2 respectivamente.

De acordo com a expressão 19 e porque a constante de tempo T_c é independente das perdas (expressão 12) é possível traçar as curvas de aquecimento para diferentes regimes de carga a partir de um único ensaio em carga.

Na figura 5 os valores θ_{f_1}, T_c e θ_1 (curva 1) foram determinados num ensaio com uma carga a que correspondiam as perdas ΔP_1. As curvas 2 e 3 foram traçadas usando as expressões 17 e 19 para regimes de carga a que correspondem as perdas ΔP_2 e ΔP_3. Supõe-se que em qualquer dos regimes de funcionamento a velocidade angular do veio é aproximadamente a mesma. Se o não for serão diferentes as condições de ventilação e portanto serão diferentes o coeficiente K e a constante de tempo T_c.

Considerações análogas permitem prever as condições de arrefecimento.

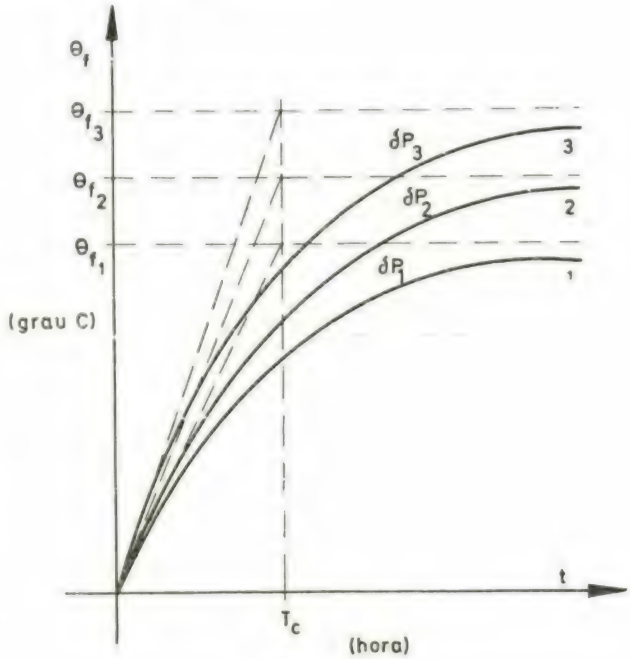


Fig. 5

Se o motor (cuja velocidade se supõe pouco variar com a carga) for submetido a um regime de carga representado pela curva 1 da figura 6, a curva 2 da mesma figura 6 representa a variação da sua temperatura no tempo.

O traçado da curva 2 exige apenas o conhecimento do acréscimo de temperatura θ_{fN} com a carga nominal I_N e das constantes de tempo T_c no aquecimento e T'_c no arrefecimento.

Para se estimar a duração do ensaio que permite definir uma curva de aquecimento e portanto θ_{fN} e T_C tem interesse notar que a Recomendação 201-8 da publicação n.º 34-1 (1960) da C. E. I. define «equilíbrio térmico» como o estado atingido quando as temperaturas medidas nas diversas zonas da máquina em observação não variam mais do que 1 °C. h^{-1}.

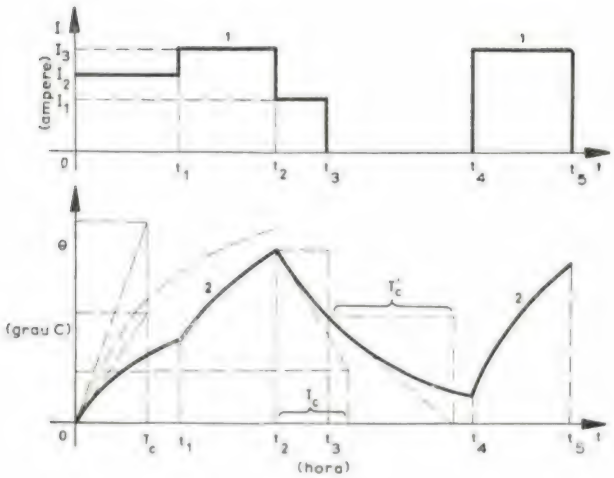


Fig. 6

Atendendo à expressão (10), a condição imposta pela C. E. I. pode traduzir-se analìticamente por

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_f}{T_c}\, e^{-\frac{t_a}{T_c}} = \frac{1}{60} \qquad (20)$$

para temperaturas medidas em graus centígrados e o tempo em minutos e sendo t_a, que se designará por «tempo de aquecimento», o tempo necessário para se atingir o equilíbrio térmico.

A equação 20 permite concluir que

$$t_a = T_c \log_e \frac{60\,\theta_f}{T_c} \qquad (21)$$

Os acréscimos de temperatura nominais são habitualmente da ordem de 50 °C. Tomando $T_c = 30$ min, o que de acordo com o Quadro 1 é uma ordem de grandeza aceitável, obtém-se

$$t_a = 30 \log_e \frac{60 \times 50}{30} = 2\text{ h } 18\text{ min}$$

3. REGIME CONTÍNUO EQUIVALENTE A UM REGIME VARIÁVEL

A definição da potência nominal dos motores eléctricos fundamenta-se em ensaios de aquecimento feitos em regime contínuo. Quando o motor vai ser submetido a um regime variável interessa prever se a temperatura máxima atingida ultrapassará ou não a que se atingiu no ensaio em regime contínuo.

A definição de um regime contínuo equivalente a um regime variável pode basear-se na comparação da energia perdida durante o regime variável com as perdas que se verificam em regime contínuo nominal. É nesta comparação que se baseia o método do «valor eficaz» de uso corrente, e que se expõe na alínea 4.

Contudo a hipótese — em que se baseia o método referido — de que a igual energia perdida corresponde igual acréscimo de temperatura não é rigorosa. A questão merece ser exposta com algum pormenor.

A lei exponencial expressa em 8 supõe $\Delta P =$ = constante. A temperatura atingida, em regime permanente, *ao fim de um tempo* t_1 é

$$\theta_1 = \frac{\Delta P_1}{K A J}\left[1 - e^{-\frac{KA}{mc} t_1}\right]$$

ou

$$\theta_1 = \frac{\Delta W_1}{t_1 K A J}\left[1 - e^{-\frac{KA}{mc} t_1}\right] = K' \Delta W_1 \qquad (22)$$

sendo ΔW_1 (curva 1 da fig. 7)

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 . t_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad (23)$$

Se o motor trabalha em regime variável as perdas variam no tempo conforme a curva 2 (fig. 7).

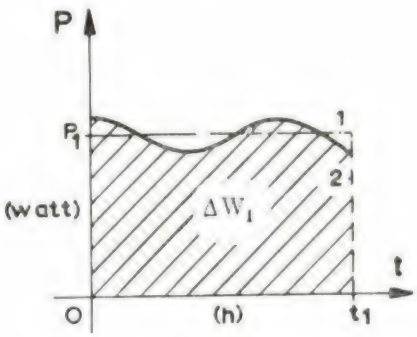


Fig. 7

Se a área limitada pelas curvas 1 e 2 é a mesma, a energia de perdas ΔW_1 é a mesma. Se os valores instantâneos de ΔP não se afastarem muito do valor médio $\Delta W_1/t_1 = \Delta P_1$ a temperatura no fim do tempo t_1 será aproximadamente a mesma nos dois casos.

Esta hipótese equivale a supor que a parcela de calor perdida para o ambiente é a mesma nos dois casos e será tanto mais verdadeira quanto

menores forem os afastamentos dos valoree reais de ΔP do seu valor médio ΔP_1 e o período das variações de ΔP.

Sendo ΔP_N o regime nominal de perdas, a que corresponde o aquecimento limite, serão aceitáveis os regimes em que

$$\frac{\Delta W_1}{t_1} < \Delta P_N \qquad (24)$$

pois, de acordo com a hipótese feita, satisfeita a condição 24, o aquecimento limite não será excedido.

Estas considerações pressupõem

$$t_1 > t_a$$

sendo t_a o tempo de aquecimento em regime permanente (definido na alínea 2). Para os regimes transitórios de duração total inferior a t_a a potência média de perdas $\Delta W_1/t$, pode ser maior do que ΔP_N sem que a temperatura limite seja obrigatòriamente excedida. A previsão da temperatura máxima atingida poderá, nesse caso, ser feita de acordo com o método exposto na alínea 2 (fig. 6).

4. MÉTODO DO VALOR EFICAZ

A expressão 22

$$\theta_1 = K' \, \Delta W_1$$

tem, como se notou, apenas o valor de uma aproximação, quando aplicado a um regime variável. Contudo é nesta expressão que se baseia o método do valor eficaz.

A energia perdida, sob carga nominal, durante o tempo t_1, vale, num motor trifásico,

$$\Delta W_N = (A + BI^2_N)t_1 \qquad (25)$$

em que

- A — perdas constantes, magnéticas e mecânicas (watt).
- B/3 — resistência equivalente por fase (ohm).
- I_N — valor eficaz da intensidade da corrente, nominal, por fase (ampere).

Se a energia perdida em regime variável durante o tempo t_1 for ΔW_1, a expressão 22 permite afirmar que a temperatura atingida no regime variável não excederá a que é atingida no regime nominal se

$$\Delta W_1 < \Delta W_N \qquad (26)$$

condição a que é possível dar a forma, atendendo à expressão 25

$$I_N > \sqrt{\frac{1}{B}\left(\frac{\Delta W_1}{t_1} - A\right)} \qquad (27)$$

Para verificar se um motor, ensaiado em regime contínuo, suporta um dado regime variável, basta usar a expressão 26 de mais fácil aplicação do que a expressão 27. Contudo esta última abre o caminho para o método do valor eficaz, que se vai expor supondo que o accionamento é feito por um motor trifásico de indução.

A energia de perdas durante o tempo t_1 do regime variável vale aproximadamente

$$\Delta W_1 = \int_0^{t_1} [A(t) + B\,I^2(t)]\,dt \qquad (28)$$

em que I é o valor eficaz da intensidade por fase na alimentação do motor.

De acordo com a expressão 26 o motor suporta o regime variável se

$$\int_0^{t_1} \left[A(t) + B\,I^2(t)\right] dt < (A + BI^2_N)t_1 \qquad (29)$$

Se *o período de funcionamento não inclui paragens do motor*, as perdas magnéticas e mecânicas serão muito aproximadamente constantes, se a tensão de alimentação, a frequência e a velocidade do motor se mantiverem constantes. Então sendo A constante e atendendo a B ser pràticamente constante, da expressão 29 conclui-se

$$I^2_N\, t_1 > \int_0^{t_1} I^2(t)\,dt \qquad (30)$$

ou

$$I_N > \sqrt{\frac{1}{t_1}\int_0^{t_1} I^2(t)\,dt} \qquad (31)$$

em que o 2.º membro da inequação representa o «valor eficaz» da intensidade variável I(t) calculada para a duração t_1 do regime variável.

A condição 31 pode expressar-se:

«um motor cuja corrente nominal em regime contínuo é I_N, suporta um regime variável I(t) se o valor eficaz I_{ef} calculado para a duração t_1 do regime variável não exceder I_N, isto se as perdas magnéticas e mecânicas se mantiverem constantes durante o tempo t_1».

O valor eficaz I_{ef} será portanto

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} I^2 (t)\, dt} \qquad (32)$$

Se o regime variável não incluir potências muito diferentes o factor de potência cos Φ e o rendimento η podem ser tomados como aproximadamente constantes. Na figura 8 representam-se as características cos Φ (P_u) e η (P_u) que a firma MOTRA indica para os motores de indução trifásicos de rotor em curto-circuito que fabrica e que podem ser considerados valores normais. Verifica-se que entre 65 % e 130 % da plena carga

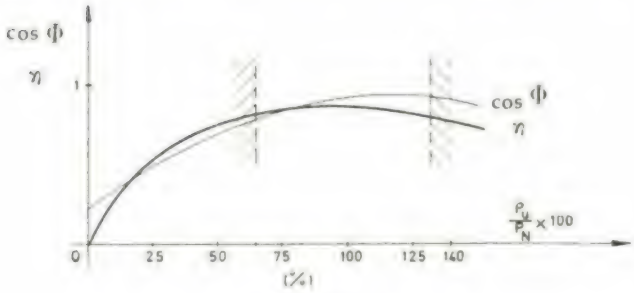


Fig. 8

o produto η. cos Φ é aproximadamente constante. Então a intensidade da corrente na linha de alimentação do motor é uma função aproximadamente linear da potência útil no veio. De facto

$$P_u = \frac{\sqrt{3}}{1000} U_c I_L \cos \Phi\, \eta \qquad (33)$$

em que

P_u — potência útil no veio (quilowatt).

U_c — valor eficaz da tensão composta na linha (volt).

I_L — valor eficaz da intensidade da corrente em cada um dos três condutores da linha de alimentação (ampere).

cos Φ — factor de potência (coseno do ângulo de desfasagem entre a corrente na linha e a tensão simples nos terminais do motor).

η — rendimento do motor (relação entre a potência útil no veio e a potência activa absorvida à linha.

Se o produto η. cos Φ é constante

$$P_u = K_p I_L \qquad (34)$$

em que

$$K_p = \frac{\sqrt{3}\, U_c}{1000} \cos \Phi\, \eta \qquad (35)$$

Para a tensão $U_c = 380$ V e para o valor médio do produto η. cos Φ (figura 8) no domínio

$$0{,}65\, P_{u\,N} < P_u < 1{,}3\, P_{u\,N}$$

o coeficiente K_p vale

$$K_p = 0{,}56 \text{ k W. A}^{-1} \qquad (36)$$

No domínio em que é válida a linearidade expressa em 34 é possível substituir a expressão 32 por

$$P_{u\,ef} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} P_u^2 (t)\, dt} \qquad (37)$$

e o motor suportará o regime variável P_u (t) se

$$P_{u\,ef} \leqslant P_{u\,N} \qquad (38)$$

sendo P_{uN} a potência nominal do motor.

A potência útil no veio pode ser medida pelo produto do binário útil M_u pela velocidade angular

$$P_u = M_u \,.\, n \qquad (39)$$

atendendo a 34

$$P_u = M_u \,.\, n = K_p I_L \qquad (40)$$

Se a velocidade angular n variar pouco com P_u podemos supor n = constante e então

$$M_u = \frac{K_P}{n} I_L = K'_P I_L \qquad (41)$$

e as condições 37 e 38 podem-se transformar em

$$M_{u\,ef} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} M_u^2 (t)\, dt} \qquad (42)$$

$$M_{u\,ef} \leqslant M_{u\,N} \qquad (43)$$

É no uso das expressões 31, 32, 37, 38, 42 e 43 que consiste o método do valor eficaz. Ao aplicar este método é importante ter presente os condicionamentos que permitiram as simplificações feitas.

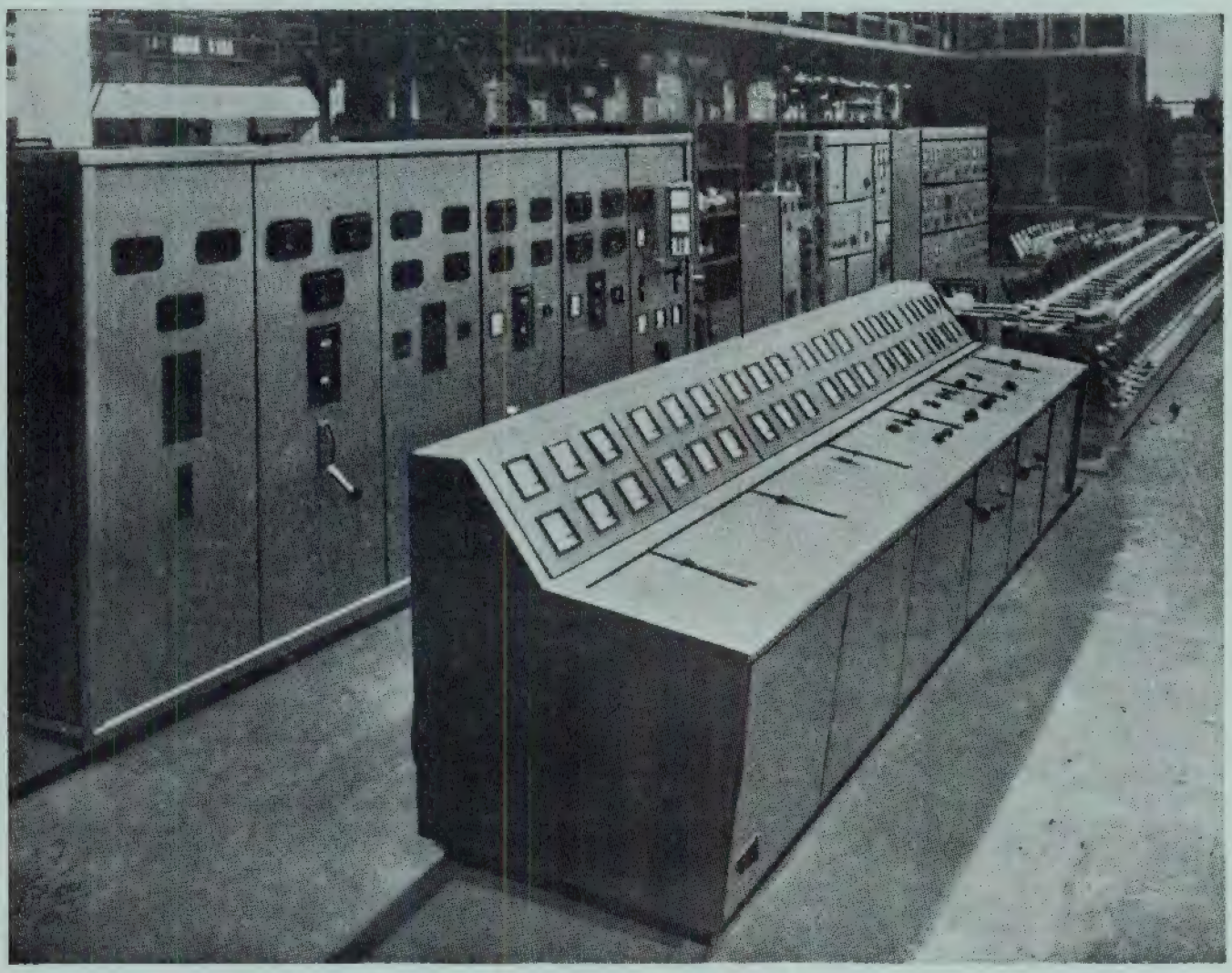
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

FILTROS TECIDOS

PARA GAZES E LÍQUIDOS
EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEFS.: 52093-52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

5. DETERMINAÇÃO DA ENERGIA DE PERDAS

Verificou-se que o método do valor eficaz pode ser aplicado às intensidades da corrente, às potências ou aos binários. Em qualquer dos casos há que admitir que as perdas magnéticas e mecânicas são constantes durante o regime variável. Se não for legítima tal hipótese, só a expressão 26, mais geral, permite quantificar o problema com razoável aproximação.

A expressão 26 supõe o conhecimento da energia total ΔW_1 durante o tempo de funcionamento. É para a determinação de ΔW_1 que tem interesse a construção gráfica que se expõe a seguir.

O regime variável é caracterizado pelo diagrama de carga P_u (t) durante um intervalo de tempo t_1. O conhecimento da função I_L (P_u) permite relacionar a intensidade da corrente na linha de alimentação I_L com a potência útil no veio P_u'.

Na fig. 9 representa-se a função I_L (P_u) para os motores de indução de rotor em curto-circuito fabricados em Portugal pela MOTRA.

Esta curva pode ser traçada para qualquer motor, dada a tensão de alimentação U_c, desde que sejam conhecidas as funções cos Φ (P_u) e η (P_u).

Para os motores trifásicos

$$I_L = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \Phi \cdot \eta} P_u \qquad (44)$$

e

$$I_L = \frac{735{,}5}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \Phi \cdot \eta} P'_u \qquad (45)$$

em que

P_u — potência útil no veio (quilowatt)

P'_u — potência útil no veio (cavalo-vapor)

e U_c, cos Φ e η simbolizam as mesmas grandezas e são expressos nas mesmas unidades que na expressão 33.

Definidas a função I_L (P_u) com o auxílio da função cos $\Phi \cdot \eta$ (P_u) (figura 8), as perdas mecânicas e magnéticas e as perdas joule nominais, a construção que se apresenta na figura 9 permite determinar gràficamente a energia total de perdas ΔW_1 (joule) durante o tempo de funcionamento t_1 (segundo),

Na figura 9 representa-se

no 1.º quadrante a função P_u (t),
no 2.º quadrante a função I_L (P_u),
no 3.º quadrante a função $(A + B\, I^2_L)$, (I_L),
no 4.º quadrante a função ΔP (t).

A função ΔP (t) exprime a variação no tempo das perdas totais do motor. A área limitada pela curva que representa ΔP (t) mede a energia total de perdas ΔW_1.

O rectângulo que tem por lados a unidade de tempo e a unidade de potência de perdas mede a área a que corresponde a unidade de energia de perdas. A área S

$$S = \int_0^{t_1} \Delta P\ (t)\ dt \qquad (46)$$

é proporcional à energia eléctrica ΔW_1 (joule) que será convertida em calor.

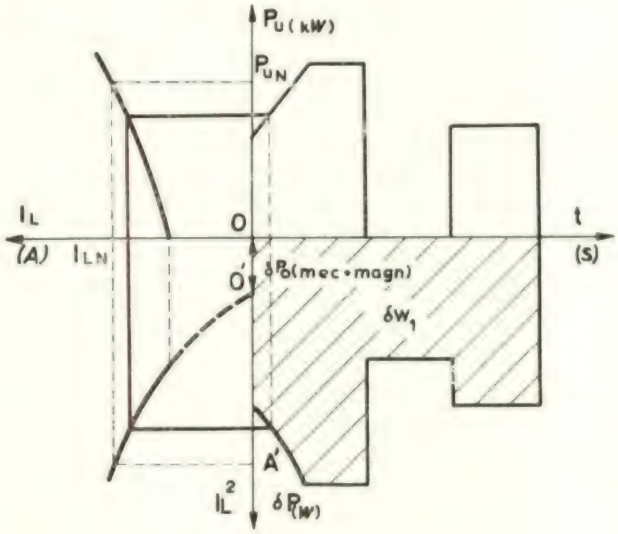


Fig. 9

A construção apresentada na figura 9 e que permite quantificar ΔW_1 supõe que as perdas mecânicas e magnéticas são independentes das variações de carga. Seria possível modificar a construção de modo a considerar as variações das perdas mecânicas e magnéticas com a carga. Porém, quer no motor trifásico de indução quer no motor de corrente contínua em derivação tais variações são pequenas e não justificam que se sobrecarregue a construção gráfica quando aplicada a esses motores.

Igualmente se observa que a construção da figura 9 supõe que a resistência equivalente por

fase do motor B/3 se mantém constante durante o aquecimento.

6. O SIGNIFICADO DO FACTOR DE MARCHA NA DEFINIÇÃO DOS REGIMES VARIÁVEIS

A Recomendação 302 da publicação 34-1 da C. E. I., define «factor de marcha» como a relação entre o tempo de funcionamento em carga nominal e a duração de um ciclo completo. A Recomendação 506-b da mesma publicação impõe para a duração do ciclo, quando do ensaio, o tempo de 10 minutos, salvo convenção especial.

Também a Regra VDE 0530/755, alínea *i*), do § 18 define um «factor de serviço relativo ED» como a relação entre a duração da carga e a duração total do ciclo. E a alínea *h*) do mesmo parágrafo também fixa a duração do ciclo em 10 minutos salvo convenção em contrário. Verifica-se que quer a C. E. I. quer a VDE admitem seis ciclos por hora.

De facto, para um mesmo factor de marcha (ou factor ED) a temperatura atingida depende da duração do ciclo. Convém esclarecer este aspecto particular da definição dos regimes variáveis, que algumas vezes origina imprecisões no que se exige e no que se garante ao negociar motores eléctricos.

Um factor de marcha (ou um factor ED) de 40% tanto define um ciclo de 10 minutos dos quais 6 são de paragem, como um ciclo de 10 segundos dos quais 6 são de paragem. Porém no primeiro caso fazem-se seis arranques por hora enquanto que no segundo caso se fazem trezentos e sessenta.

Durante os períodos transitórios de aceleração a intensidade das correntes que circulam nos circuitos do motor são, em geral, elevadas em relação aos valores normais e a potência de perdas joule que cresce com o quadrado da intensidade é extremamente elevada. Já não se satisfaz então a condição da potência instantânea $\Delta P_i = dW/dt$ não se afastar muito do seu valor médio ΔP e, como se notou, era essa condição que condicionava a aproximada validade da expressão 24 em que se basearam as alíneas 3 e 4.

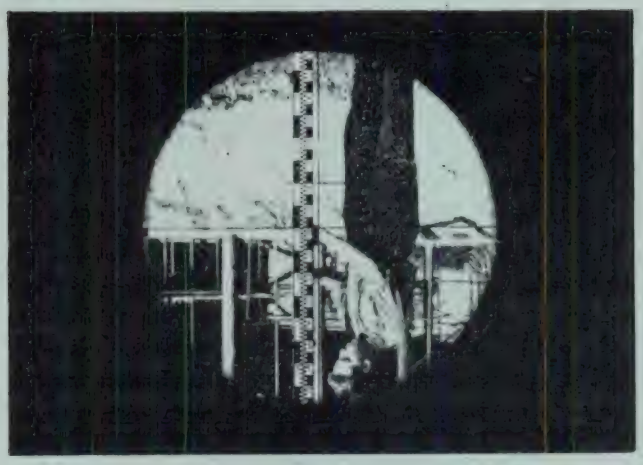
Admitindo que todo o calor produzido fica na peça aquecida é fácil a quantificação da temperatura atingida, usando uma análise idêntica à que se aplica para quantificar os efeitos térmicos das correntes de curto-circuito. Porém, o erro cometido por excesso seria, no caso dos motores, muito grande, o que tira o interesse ao resultado de tal análise.

Conclui-se notando que se os tempos de aceleração (e eventualmente de travagem) forem uma parcela importante do tempo de funcionamento nem sequer será possível prever o acréscimo de temperatura baseando-nos num ensaio em regime contínuo, como se fez na fig. 6, se as elevadas temperaturas atingidas não permitirem considerar constantes nem B nem K.

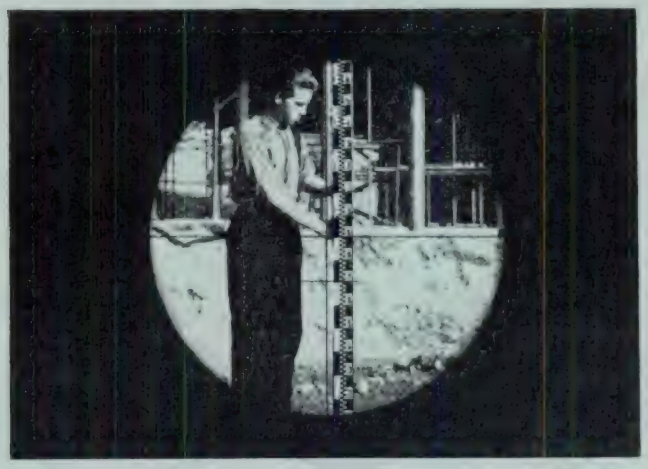
Nos motores de rotor em dupla gaiola há ainda um factor que dificulta a previsão da temperatura atingida quando o tempo de arranque é uma parcela importante do tempo de funcionamento: é a variação da resistência efectiva do rotor durante o arranque.

Regista-se contudo a importante conclusão que a simples indicação do factor de marcha a que se referem as Recomendações C.E.I. (ou do coeficiente ED a que se referem as Regras VDE) não é suficiente para definir um regime variável. A indicação do factor de marcha deverá ser sempre acompanhada da indicação da duração do ciclo.

ANTIGAMENTE :



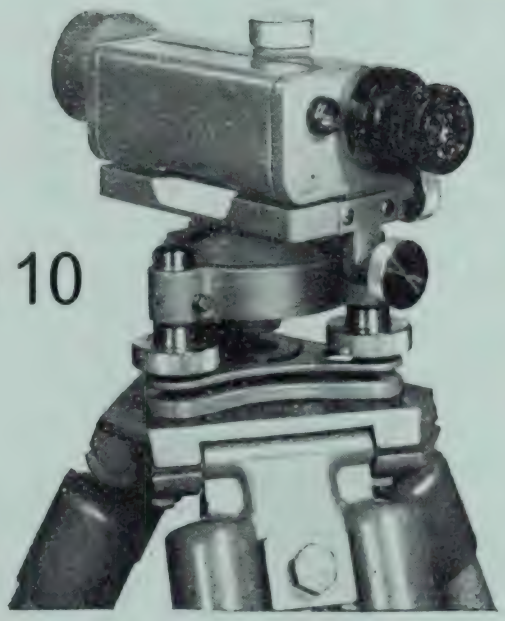
HOJE :



Com
imagem
direita
na luneta

WILD
HEERBRUGG

N 10



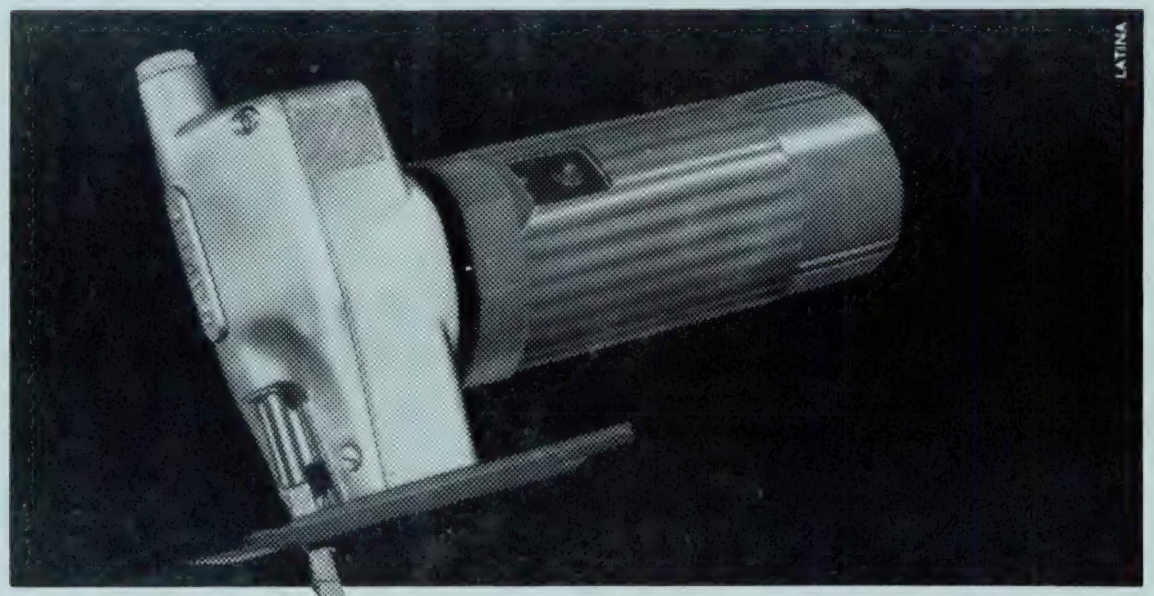
Trabalho cómodo e simples sem erros e sem dúvidas, sinais correctos, não invertidos, claros e rápidos.

O pequeno nível WILD N 10 com a designação «E» tem imagem direita do campo de observação na luneta. A mesma tem luminosidade igual ao modelo convencional e o mesmo tamanho.

Representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA-2 — TELEFONE 68 11 27



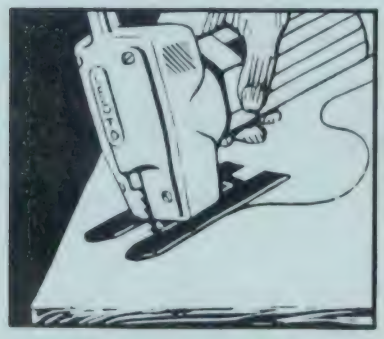
UMA SÓ SERRA PARA MUITOS TRABALHOS

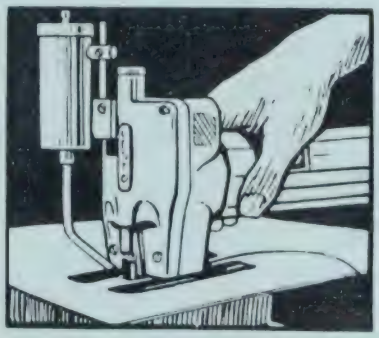
SERRAS ELÉCTRICAS

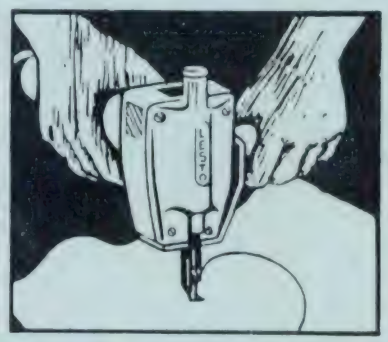
LESTO

Fàcilmente manejáveis, leves e resistentes, as Serras Lesto são preferidas pelos profissionais de todo o mundo pela sua grande capacidade de corte dos mais diversos materiais — madeira, metal, plástico, fibrocimento e aglomerados.

Assistência Técnica em todo o país







ROBERT BOSCH (PORTUGAL), LDA. – LISBOA-PORTO

C. D. U. 550.837 : 624.15

PROSPECÇÃO ELÉCTRICA DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO. POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES

(Conclusão)

por J. M. RESSURREIÇÃO NETO
Engenheiro Civil (UP)

5 — ALGUMAS APLICAÇÕES DO MÉTODO DA RESISTIVIDADE ELÉCTRICA À PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA

São em elevado número as aplicações do método da resistividade eléctrica na resolução de problemas directa ou indirectamente ligados com a prospecção geotécnica, tais como: determinação do estado de alteração de formações rochosas, pesquisa de pedreiras, determinação da profundidade e natureza geotécnica do *bedrock*, pesquisa de falhas geológicas e sua localização topográfica, determinação da estratigrafia do subsolo e natureza geotécnica dos estratos, pesquisa de inertes, prospecção de superfícies de escorregamento de encostas, localização de cavernas — provenientes de fenómenos de natureza vulcânica, carreamento de areias ou dissolução química dos calcários — pesquisa de águas subterrâneas, determinação da salinidade das águas, problemas relacionados com a subida e descida do nível freático, determinação indirecta do teor de humidade de terrenos não saturados, avaliação das condições óptimas de humidade de compactação dos solos, localização de infiltrações em obras de terra, determinação da evolução do teor de humidade dos maciços terrosos, localização de canalizações metálicas enterradas, pesquisas arqueológicas, etc.

No presente capítulo limitamo-nos a transcrever algumas das aplicações práticas mais correntes, sem fazer uso dos aspectos mais especializados do método da resistividade eléctrica, o que de certo modo estaria fora do âmbito e da finalidade da presente publicação.

5.1 — Determinação geoeléctrica do estado de alteração de formações rochosas. Pesquisa de pedreiras

A prospecção geotécnica dos terrenos rochosos anda intimamente ligada ao estudo e construção de grandes obras de engenharia civil, tais como estradas, barragens, pontes, abertura de túneis, galerias de pressão, canais, localização de pedreiras, etc.

Para simplificar o esquema da pesquisa geoeléctrica dos terrenos rochosos vamos, por agora, admitir a hipótese da existência de formações geológicas do tipo não estratificado, nas quais englobaremos as rochas ígneas, algumas das sedimentares e mesmo metamórficas.

Sob o ponto de vista geoeléctrico, e admitindo a hipótese da ausência de quaisquer acidentes tectónicos, poderemos considerar estas formações subdivididas em três tipos distintos de terreno à medida que caminhamos no sentido da profundidade.

Assim, teremos uma primeira camada superficial, constituída por solos provenientes dos produtos de decomposição da rocha mãe, a qual exibirá, consoante as circunstâncias, uma espessura variável entre alguns centímetros e muitas dezenas de metros. Esta camada apresenta uma distribuição superficial bastante irregular, características granulométricas variáveis, capacidade de carga dependente do tipo de rocha bem como da sua própria génese e grau de alteração, e, em condições favoráveis, poderá mesmo manter uma toalha freática associada. Encontram-se neste caso os terrenos saibrosos ou caulinizados resultantes da decomposição dos granitos, as formações mais ou menos argilosas ou detríticas provenientes da alteração dos xistos, etc.

Subjacente a esta camada de decomposição superficial encontra-se um segundo terreno, constituído por rochas mais ou menos alteradas, fracturadas, diaclasadas, etc., heterogeneidades essas que conferem à rocha alguma permeabilidade, permitindo a infiltração das águas superficiais, ou mesmo o caminhamento e a percolação das águas subterrâneas, as quais tornam possível e progressivo todo o processo da meteorização.

À medida que a profundidade aumenta, as fracturas tornam-se menores, aparecem com menos frequência, podendo o terreno rochoso apresentar-se pràticamente impermeável aos agentes da meteorização. Por outro lado o estado de compressão natural existente no maciço rochoso pode contrariar as variações volumétricas, resultantes do processo de alteração conduzindo a uma rápida convergência de qualquer fenómeno de meteorização.

Para além de uma profundidade relativamente elevada, surge então uma terceira camada, onde a rocha se apresenta pràticamente inalterada, pelo menos em zonas não afectadas pela acção das águas termais e movimentos de origem tectónica.

Embora sob o ponto de vista geotécnico tivéssemos considerado as formações rochosas não estratificadas subdivididas em 3 zonas distintas de terreno, não se pode concluir que tal sequência de camadas se verifique sempre conjuntamente, em face dos múltiplos processos de alteração e erosão.

Na prática o problema não se apresenta com tamanha simplicidade, em virtude da acentuada irregularidade verificada nas superfícies limite de separação das camadas correspondentes ao maior ou menor estado de alteração da rocha. A meteorização processa-se de uma maneira irregular dando origem a *bolsadas* de terreno alterado ou decomposto, mais ou menos extensas e profundas, por vezes difíceis de detectar a partir de simples sondagens eléctricas. Numa primeira fase dos ensaios não se sabe mesmo até que ponto as condições teóricas, indispensáveis à aplicação do método de pesquisa por sondagem geoeléctrica, são satisfeitas pela geologia local, de forma a que a interpretação dos resultados possa ser efectuada com a indispensável precisão e rigor.

O maior ou menor estado de alteração de uma formação rochosa, reflecte-se directamente nas variações mais ou menos acentuadas da sua resistividade eléctrica, enquanto a forma e o andamento das curvas geoeléctricas, $\rho = f(AB\ 2)$, nos fornecem informações sobre a profundidade dessa alteração.

Uma rocha sã e compacta apresenta um teor de humidade pràticamente nulo o que conduz a uma resistividade bastante elevada, dado o facto da condutibilidade da corrente eléctrica se processar quase exclusivamente por via iónica. Por sua vez, uma rocha decomposta (solo) apresenta um teor de humidade de saturação elevado e, por conseguinte, uma resistividade eléctrica muito baixa.

Deste modo poderemos correlacionar o estado de alteração de determinada formação rochosa com os valores da sua resistividade eléctrica de saturação ρ_s. Na hipótese do terreno rochoso não se encontrar saturado de humidade, o que por vezes acontece, embora em zonas muito próximas da superfície, já a interpretação geológica dos resultados geoeléctricos carece de especiais cuidados. Um terreno decomposto e seco poderá então ser, erradamente, tomado por uma formação rochosa compacta.

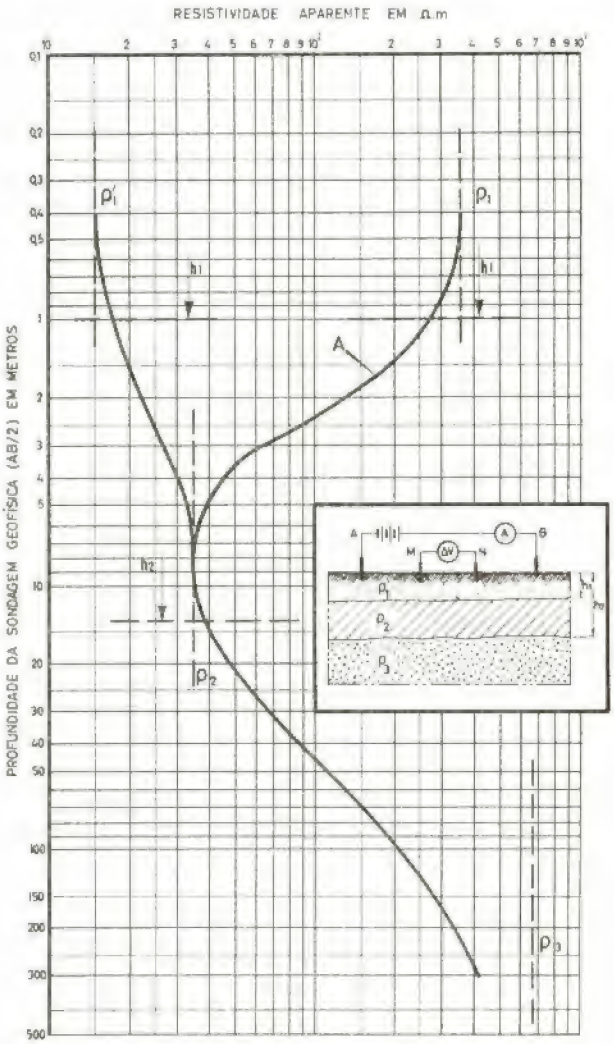


Fig. 11 — Gráfico correspondente à hipótese de um terreno rochoso e alterado a partir da superfície

No caso mais geral os resultados de uma son-

dagem elétrica efectuada sobre uma formação rochosa, obedecendo ao esquema teórico anteriormente referido, deverá traduzir a existência de 3 camadas geológicas a que corresponderão valores distintos de ρ, tal como se apresenta na fig. 11:

Terreno decomposto, correspondente à camada superficial . . . . . ρ_1 ou ρ'_1
Rocha fracturada e saturada de humidade . . . . . ρ_2
Rocha sã e compacta . . . . . ρ_3

Consoante a época do ano em que for realizada a pesquisa assim poderemos ter valores de ρ_1 ou ρ'_1 muito altos ou muito baixos relativamente ao valor ρ_2 da rocha fracturada. Nestas condições, uma sondagem eléctrica efectuada num terreno deste tipo poderá vir a apresentar duas curvas distintas, no que se refere à resistividade da camada de terreno superficial, embora correspondam a uma única solução geológica.

De acordo com os hipotéticos resultados geoeléctricos da fig. 11, e atendendo aos valores das resistividades eléctricas, poderemos efectuar a interpretação geofísica apresentada no quadro II, a qual foi obtida por sobreposição dos gráficos experimentais com curvas teóricas correspondentes a soluções bem conhecidas.

Para proceder à interpretação geológica, correspondente ao local prospectado, poderemos agora lançar mão dos resultados geofísicos e integrá-los numa análise de conjunto, tomando em consideração todas as fontes de informação ao nosso dispor, tais como a geologia superficial, a existência de eventuais poços, trincheiras, sondagens mecânicas, etc.

Os gráficos apresentados na fig. 11 fornecem-nos a seguinte informação geofísica:

1.º — Existência de uma camada de terreno superficial com cerca de 1 m de espessura exibindo, consoante o seu teor de humidade, uma resistividade compreendida entre 15 e 380 Ω.m. (1)
2.º — Existência de uma segunda camada de terreno, compreendida entre 1 e 14 m de profundidade, exibindo uma resistidade da ordem dos 35 Ω.m.
3.º — A uma profundidade superior a 14 m constata-se a existência de um terreno cuja resistividade eléctrica é da ordem dos 700 Ω.m.

No caso particular da informação geológica superficial nos indicar que o terreno em estudo é constituído por uma formação granítica, exibindo acentuada regularidade geofísica, o problema da pesquisa encontra-se pràticamente solucionado. A camada superficial corresponderá a um terreno decomposto (ou mesmo caulinizado), a camada intermédia a um terreno fortemente alterado ou fracturado, enquanto a camada subjacente corresponderá a um granito medianamente são e compacto.

Deverá notar-se que tanto a definição numérica da espessura das camadas, como a própria classificação da rocha, no que respeita ao estado de alteração, podem ter o significado de uma ordem de grandeza, ou um valor meramente

QUADRO II

Interpretação geofísica de uma sondagem eléctrica

Camadas	h Espessura em metros	Resistividade eléctrica em Ω.m	Observações
1.ª	0 a 1 m	380 ou 15 Ω.m	O nível freático não foi considerado
2.ª	1 a 14 m	35 Ω.m	
3.ª	14 m	700 Ω.m	

(1) — Note-se que no caso geral teremos apenas uma única curva definida por valores de ρ compreendidos entre A e B (fig. 11).

qualitativo, em face das acentuadas irregularidades geológicas características destas formações. A precisão com que se podem prever as profundidades da alteração, depende fundamentalmente do contraste geoeléctrico existente entre as diferentes camadas, contraste esse que condiciona as maiores ou menores inflexões dos gráficos e, por conseguinte, toda a base técnica da interpretação.

Os valores das resistividades eléctricas observadas nada nos dizem de exacto sobre a natureza geológica do terreno, pois apenas nos fornecem uma ordem de grandeza do seu estado de consolidação. Embora em muitos tratados e monografias da especialidade se encontrem várias tabelas de resistividades, correspondentes a um grande número de terrenos, a experiência tem desencorajado a utilização de tais elementos de trabalho, uma vez que para o mesmo tipo de rocha as resistividades dependem de vários parâmetros regionais, tais como a salinidade do meio, existência de níveis freáticos, origem e natureza da alteração, etc. A utilização de tais tabelas presta-nos menos serviços do que a experiência prática do investigador, aliada a uma perfeita interpretação da geologia superficial do terreno em estudo e, se possível, ao reconhecimento directo da natureza do subsolo através da abertura de alguns furos de sonda para aferição, controle e extrapolação dos resultados geofísicos.

De uma maneira muito grosseira poderemos considerar as seguintes ordens de grandeza das resistividades dos terrenos rochosos saturados de humidade.

Rocha decomposta a muito alterada.	20 a 35 Ω . m
Rocha muito alterada a alterada	35 a 150 Ω . m
Rocha alterada a dura . .	150 a 600 Ω . m
Rocha dura a compacta . .	600 a 3000 Ω . m

Uma vez estabelecida uma escala de valores *resistividades-estados de alteração*, baseada numa aferição local ou fundamentada na experiência regional do investigador, os resultados geofísicos poderão então ser extrapolados a grandes áreas, com uma precisão tècnicamente aceitável na maioria dos casos de aplicação prática.

Os ensaios de campo são normalmente conduzidos através de sondagens geoeléctricas espaçadas de 2 a 3 dezenas de metros, prospecção essa que posteriormente se pormenoriza por intermédio de perfis de resistividade a profundidade constante, tal como se apresenta na fig. 8, e com leituras que, por vezes, chegam a ser realizadas com um espaçamento da ordem dos 2 metros.

Os perfis de resistividade são geralmente orientados segundo determinada direcção, espaçados de algumas dezenas de metros e ensaiados para várias profundidades de pesquisa, de forma a que qualquer anomalia geológica, existente no terreno e não detectada pelas sondagens eléctricas, fique geomètricamente enquadrada pelo campo de medida das montagens agora utilizadas.

Deste modo, constata-se a existência de uma profundidade de pesquisa bem determinada (valor de a na expressão (6) ou L/2 na expressão (7) para a qual uma eventual anomalia geológica aparece caracterizada por um máximo ou um mínimo da resistividade eléctrica do terreno relativamente à formação geológica adjacente a qual, na hipótese mais simplificada, exibirá um valor de ρ pràticamente constante, tal como se apresenta na fig. 15.

O pormenor a atingir com uma prospecção deste tipo dependerá fundamentalmente da índole do problema geotécnico que se pretende resolver e, em casos extremos, poderá essa precisão ser levada ao ponto de tornar possível o traçado de cartas de resistividade (contendo linhas de igual resistividade eléctrica) situadas a diferentes planos de nível do terreno, ou mesmo à definição das curvas de nível do *bedrock* (1).

Na fig. 12 apresentam-se alguns resultados experimentais correspondentes a 3 perfis de resistividade, obtidos para duas profundidades distintas de pesquisa, enquanto na fig. 13 se encontram alguns resultados de sondagens geoeléctricas. Estes simples exemplos práticos constituem parte integrante de um vasto programa de pesquisas geoeléctricas levadas a efeito na zona de exploração das pedreiras utilizadas na Base Aérea de Beja. Enquanto os perfis visavam uma determinação pormenorizada da nutureza mais ou

(1) — Profundidade a partir da qual se encontra sempre rocha sã ou um terreno cujas características geotécnicas não melhoram, sensìvelmente, com a profundidade da pesquisa.

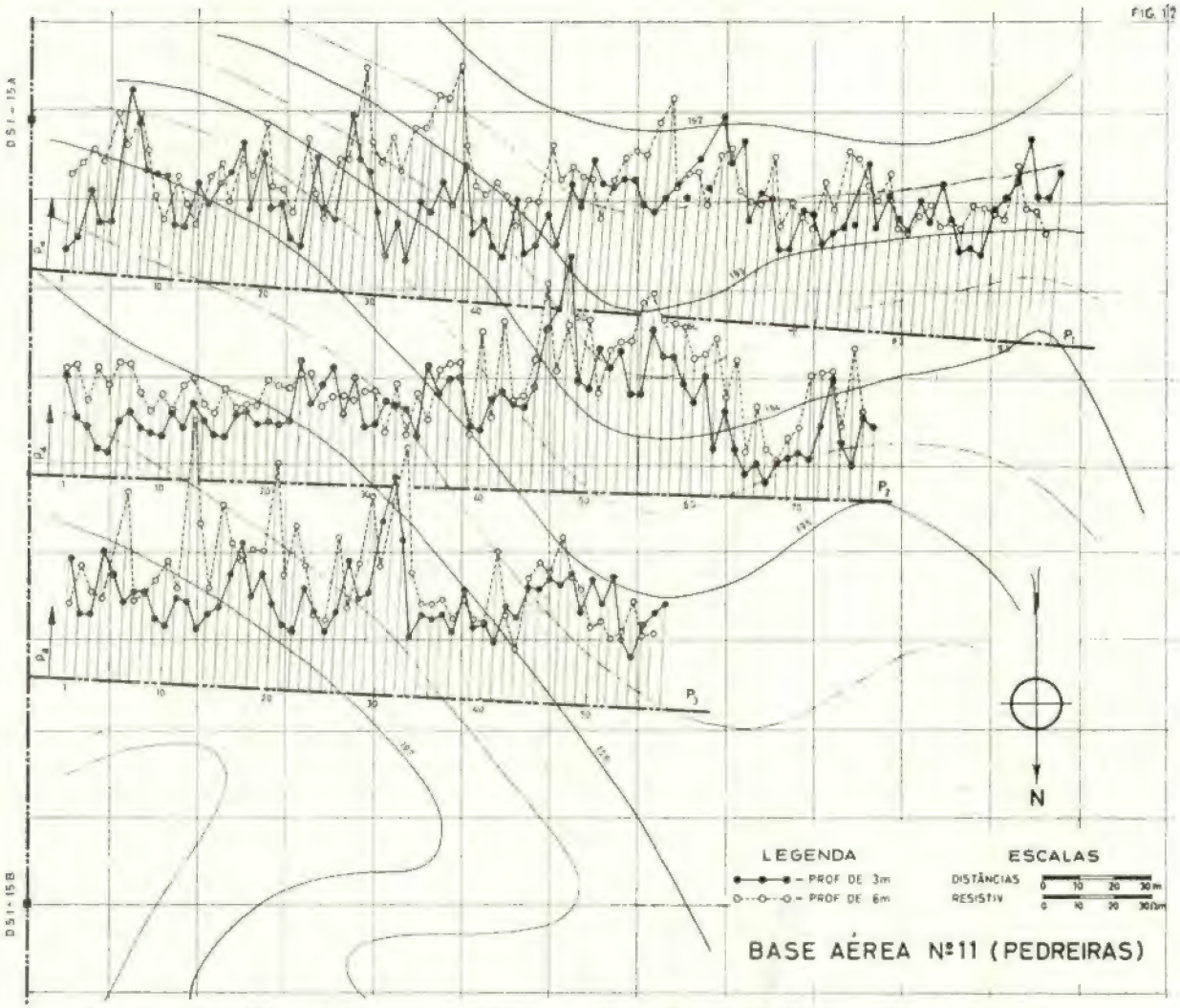


Fig. 12 — Resultados experimentais obtidos, por perfis de resistividade a profundidade constante, sobre dioritos na zona de Beja

menos rochosa de terreno de recobrimento das pedreiras, as sondagens visavam a avaliação da espessura dessa camada, bem como o estado de alteração da formação rochosa subjacente constituída por dioritos de grão fino por vezes bastante fracturados.

Uma cuidada prospecção geoeléctrica pode fornecer, a baixo custo, um grau de pormenor muitas vezes difícil de obter através dos resultados pontuais inerentes às sondagens mecânicas. No entanto só a prospecção mecânica fornece resultados de indiscutível precisão técnica, através dos quais deve ser aferida e controlada toda a interpretação da pesquisa geofísica.

Devemos notar que sem o recurso da prospecção mecânica, uma rocha dura e altamente fracturada (brecha), situada abaixo do nível freático, pode ser geoelèctricamente confundida com uma formação rochosa com forte alteração em massa. No entanto, sob o ponto de vista geotécnico, uma nítida diferenciação destas duas formas de alteração tem, por vezes, uma importância decisiva na previsão e escolha da estrutura que melhor se adapte a cada um destes tipos de terreno. Enquanto a rocha dura e fracturada pode ser fàcilmente injectada, com calda de cimento, de forma a obter uma eficiente consolidação, traduzida por uma elevada capacidade de carga e reduzida deformabilidade, a rocha decomposta ou com forte alteração em massa, raramente melhora as suas carecterísticas mecânicas em face de um eventual tratamento desta natureza. No entanto a prospecção geoeléctrica denuncia, imediatamente, a presença de uma for-

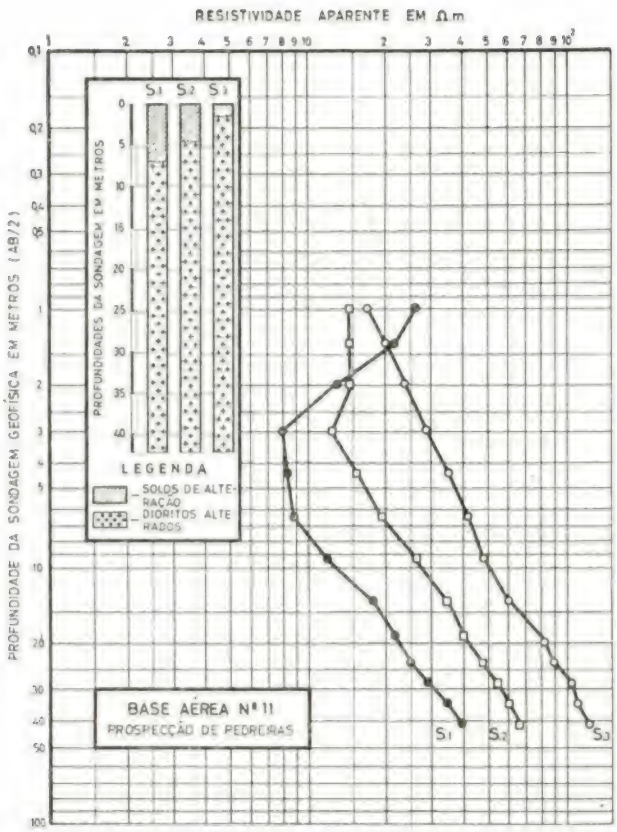


Fig. 13 — Gráficos de sondagens geoeléctricas efectuadas sobre formações dioríticas da zona de Beja

mação rochosa alterada, localizada até determinada profundidade, informação essa que na maior parte dos casos se reveste de extraordinária importância prática.

5.2 — Determinação da profundidade e natureza geotécnica do *bedrock*

Num grande número de casos o problema fundamental da prospecção geotécnica consiste na simples determinação da profundidade do *bedrock*, avaliação da sua capacidade de carga e obtenção de, pelo menos, uma ordem de grandeza dos respectivos coeficientes de deformabilidade.

No caso mais geral, a pesquisa é efectuada sobre uma formação qualquer, cuja natureza geológica é evidenciada pelo próprio terreno superficial, ou pelos afloramentos circunvizinhos, no caso dos materiais *in situ* se encontrarem recobertos por solos provenientes de uma eventual deposição secundária ou mesmo aluvionar.

Perante condições geológicas medianamente favoráveis, a prospecção geoeléctrica fornece uma valiosa contribuição para a solução de problemas deste tipo sem que contudo os resolva totalmente.

Na hipótese mais simplificada do terreno superficial se encontrar *in situ*, uma expedita prospecção efectuada por intermédio de sondagens eléctricas, fornece-nos rápidas informações sobre a natureza geotécnica do subsolo, tal como se apresenta no exemplo da fig. 14. Este exemplo integra-se nos estudos de prospecção geoeléctrica efectuados sobre os terrenos de fundação de um grande edifício a construir na zona de Olivais Norte em Lisboa [1]. A forma das curvas geoeléctricas $\rho = f(AB/2)$ denuncia-nos imediatamente a presença de distintas camadas, a profundidade a que as mesmas ocorrem, a ordem de grandeza dos valores das respectivas resistividades eléctricas, através das quais podemos inferir das características geotécnicas desses terrenos. Desde que existe uma acentuada diferenciação de terrenos, quando encarados sob o ponto de vista geotécnico, ela é normalmente evidenciada pela forma das curvas geoeléctricas $\rho = f(AB/2)$, uma vez tomadas em consideração as implicações provenientes da existência de um eventual nível freático.

Em presença de um lençol freático, uma formação geològicamente homogénea poderá apresentar-se heterogénea, sob o ponto de vista eléctrico, e vice-versa. A título de exemplo, poderemos referir o caso de um terreno arenoso contendo água abaixo de determinado nível. Sob o ponto de vista eléctrico, e até geotécnico, tudo se passa como se se tratasse de dois terrenos distintos, embora nos encontremos em presença de uma única formação geológica.

De qualquer modo, mesmo sob as condições mais desfavoráveis, motivadas pela falta de um nítido contraste entre os diferentes tipos de terreno, a prospecção geoeléctrica fornece-nos sempre preciosos elementos de estudo, através dos quais poderemos completar o reconhecimento geológico superficial e orientar os complementares trabalhos de prospecção mecânica dentro de um elevado critério de economia e segurança.

---

[1] — Trata-se de um terreno *Miocénico Marinho* com uma coluna geológica constituída pelas seguintes formações regionais: terreno superficial, *Grés dos Grilos, Argilas de Xabregas*, etc.

— Por vezes o terreno de fundação, com características geotécnicas bastante favoráveis, encontra-se recoberto por materiais não consolidados, cuja espessura não pode ser fàcilmente prevista através do reconhecimento geológico superficial ou mesmo determinada por simples trabalhos de prospecção mecânica. Terrenos deste tipo situam-se com frequência ao longo das margens dos grandes rios quando o seu curso atinge zonas de planície ou pene-planície. Neste caso o *bedrock*, constituído por materiais *in situ* e cuja natureza geológica poderá ir desde as argilas mais ou menos consolidadas até as formações rochosas pròpria-

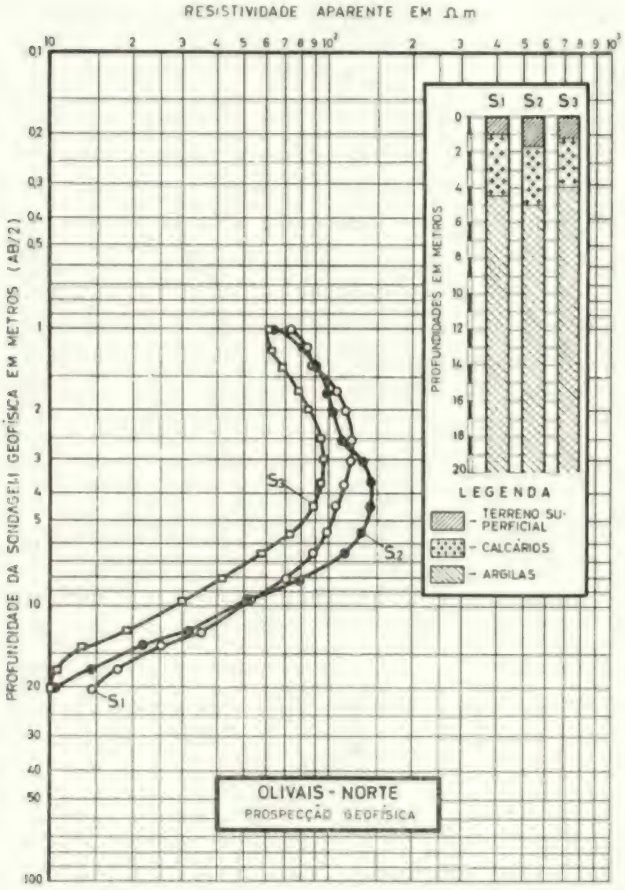


Fig. 14 — Resultados de sondagens geoeléctricas efectuadas sobre formações *Miocénicas* na zona de Olivais Norte (Lisboa)

mente ditas, encontra-se normalmente recoberto por materiais não consolidados provenientes da deposição do caudal sólido do próprio rio. As aluviões poderão então exibir as mais variadas granulometrias, indo desde os lodos aos calhaus rolados de grandes dimensões, de acordo com o regímen do rio e natureza geológica da bacia hidrográfica.

Independentemente da natureza dos materiais, constata-se quase sempre um elevado contraste geoeléctrico entre as aluviões e o *bedrock*, regional. A resistividade da camada aluvionar, quando constituída por areias ou calhaus rolados, pode ser caracterizada por um máximo de ρ_a relativamente ao *bedrock* eventualmente argiloso. No entanto, a mesma camada aluvionar pode também ser caracterizada por um mínimo de ρ_a relativamente a um *bedrock* do tipo rochoso etc. Uma vez mais nos encontramos em presença de um problema de interpretação de resultados geoeléctricos com recurso à experiência pessoal, à informação geológica superficial, ao apoio de algumas sondagens eléctricas de aferição especialmente efectuadas sobre eventuais afloramentos do *bedrock* da área em estudo, ou, em última análise à realização de algumas sondagens mecânicas para confirmação e extrapolação dos resultados da geofísica.

Em terrenos deste tipo, a pesquisa geoeléctrica apresenta um extraordinário potencial de resolução. Fàcilmente se compreendem as vantagens práticas resultantes da sua utilização no apoio ao projecto de uma fundação por poços, ou estacaria trabalhando de ponta sobre um *bedrock* qualquer. Neste caso, os resultados geofísicos permitirão prever o comprimento das estacas e saber mesmo até que ponto o terreno de fundação se apresenta contínuo, tanto em superfície como em profundidade, de modo a garantir a ausência de heterogeneidades que possam pôr em dúvida, ou mesmo em risco, o bom funcionamento dos elementos construtivos. Sob determinadas condições os resultados obtidos, por esta via, podem ainda denunciar a existência de um eventual leito arenoso ou pedregoso, com espessura e continuidade bastantes para garantir o apoio da estacaria sem necessidade de atingir um *bedrock* localizado, por vezes, a uma profundidade pouco económica.

Poderá ainda estar em causa a resolução de um problema relacionado com a determinação da permeabilidade do terreno, tendo em vista a construção de uma barragem de terra para o estabelecimento de uma albufeira destinada ao armazenamento de água, para fins agrícolas ou industriais. Neste caso o método geoeléctrico pode ser aplicado com extraordinárias vantagens sobre

qualquer outra técnica de pesquisa. Constata-se experimentalmente que, para terrenos não consolidados e situados abaixo do nível freático, os valores de ρ crescem com a permeabilidade do terreno. Um terreno bastante permeável, eventualmente arenoso ou constituído por elementos de grande diâmetro, exibirá um valor de ρ bastante mais elevado do que um outro fortemente argiloso e, por conseguinte, bastante impermeável.

Embora não seja fácil relacionar matemàticamente as resistividades com a permeabilidade do solo, os valores obtidos por esta via podem revestir-se de grande utilidade prática mesmo quando considerados como simples elementos de comparação. De uma maneira geral, em zonas de baixa salinidade, os valores de ρ compreendidos entre 5 e 20 Ω.m correspondem a terrenos pràticamente impermeáveis: acima deste valor a permeabilidade do solo cresce ràpidamente com a resistividade.

Deste modo, por intermédio de uma apertada malha de sondagens eléctricas ou através do traçado de pormenorizadas cartas de resistividade, torna-se possível detectar, com elevada precisão, determinadas anomalias, altamente permeáveis, as quais podem vir a condicionar a concepção e execução das obras, referentes ao estabelecimento da albufeira, ou mesmo a pôr em risco todo o êxito económico do empreendimento. Tais anomalias originam, muitas vezes, a perda de elevados caudais, escoados através de leitos arenosos localizados sob as fundações da própria barragem. Outras vezes as fugas podem vir a processar-se através de um eventual vale fóssil, outrora existente na zona da albufeira, escavado em formações mais ou menos rochosas ou mesmo argilosas, e posteriormente preenchido por materiais de elevada permeabilidade. A viabilidade técnica de vir a estabelecer uma albufeira numa estrutura geológica deste tipo, ficará altamente dependente de uma elevada pormenorização dos trabalhos de prospecção geotécnica, pormenorização essa que na maioria dos casos se apresentará impraticável ou mesmo econòmicamente proíbitiva através de correntes trabalhos de sondagem mecânica.

5.3 — Pesquisa de falhas geológicas e sua localização topográfica

Tanto a ocorrência como a suposta existência de falhas de origem tectónica, são normalmente evidenciadas através do reconhecimento geológico superficial. Deste modo, a prospecção geoeléctrica limitar-se-á a uma investigação do pormenor, por vezes circunscrita a zonas em que a camada de alteração superficial do terreno, ou mesmo o recobrimento aluvionar, não permitem uma exacta localização visual de tais acidentes tectónicos. A prospecção eléctrica poderá ainda, em casos muito especiais, fornecer alguns elementos relativos à eventual permeabilidade ou natureza geotécnica do material de enchimento da falha.

A pesquisa é geralmente conduzida por perfis de resistividade a profundidade constante, ensaiados para diferentes profundidades, orientados segundo a normal à presumível direcção da falha, e espaçados de acordo com as circunstâncias e com o grau de pormenor que se pretende obter. O acidente tectónico é normalmente bem evidenciado por um máximo ou um mínimo de ρ_a, relativamente ao valor médio da resistividade ρ'_a das formações geológicas circunvizinhas, tal como se apresenta na fig. 15. Os valores de ρ_a, vão tendendo para ρ'_a à medida que a profundidade de pesquisa aumenta, o que dificulta a investigação de falhas de pequena espessura quando ocultas sob uma camada de recobrimento de grande pujança. Da conjugação desta técnica de pesquisa com a realização de algumas sondagens eléctricas, convenientemente localizadas, podem ser obtidos resultados que permitam mesmo detectar a inclinação de determinadas falhas geológicas.

Deste modo, a prospecção geoeléctrica, através do traçado de cartas de resistividade, consegue localizar uma falha geológica com uma precisão tal que dificilmente poderá ser ultrapassada, ou mesmo atingida, por qualquer outra técnica de pesquisa.

A precisa localização de uma falha geológica bem como a determinação, embora aproximada, do material de enchimento da mesma, tem fundamental importância em prospecção geotécnica. Enquanto a localização da falha nos põe de sobreaviso quanto a consequências resultantes da escolha de determinado local de implantação da obra, a natureza do material de enchimento pode levantar problemas relacionados com a permeabilidade do terreno, sua capacidade de carga, viabilidade técnica de proceder a uma eventual consolidação do solo por meio de injecções de calda de cimento, etc.

Extractor de sumos, de Novodur PM – mesmo com muito uso não altera a cor.

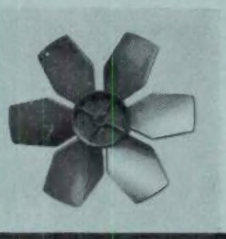
São argumentos decisivos os que falam a favor do ®Novodur PM, quando se discute o material a empregar para os corpos dos extractores de sumos. Nem os legumes, nem os sumos de frutos, nem os óleos etéreos conseguem alterar a cor ou atacar a superfície de Novodur PM. Além disso é extremamente dura por isso não risca. Há a acrescentar ainda que o Novodur PM é, até hoje, de todos os tipos de Novodur o que tem melhor brilho de superfície.

De Novodur PM pode-se fazer fàcilmente peças de formas bonitas. Este material tem excelentes propriedades de fluidez e é fácil de trabalhar. Pode ser moldado por injecção sem falhas. O Novodur PM é tenaz, inquebrável, resistente ao choque e não se deforma.

Pode-se escolher o Novodur PM num vasto sortimento de cores, desde as cores fortes e intensas até às delicadas tonalidades de pastel ou até ao branco neutro. Muitas peças e aparelhos - especialmente para o moderno uso caseiro – são já fabricados com o Novodur PM.

Bayer Leverkusen

®novodur BAYER



Aproveite este cupão:

3675

Peça, de qualquer modo, elementos informativos: o prospecto de várias páginas com exemplos de aplicação assim como o folheto detalhado de 56 páginas. Contém a descrição pormenorizada das propriedades do Novodur, indicações detalhadas para a sua laboração e para o tratamento posterior, campos de aplicação, tipos especiais de Novodur, tabelas das propriedades físicas dos diversos tipos de Novodur, ensaios de tracção e de pressão em representação gráfica, resistência química em diversos meios.

É favor recortar e remeter a

S. A. R. L. Quimicor
Lisboa
Rua Sociedade Farmacêutica, 3

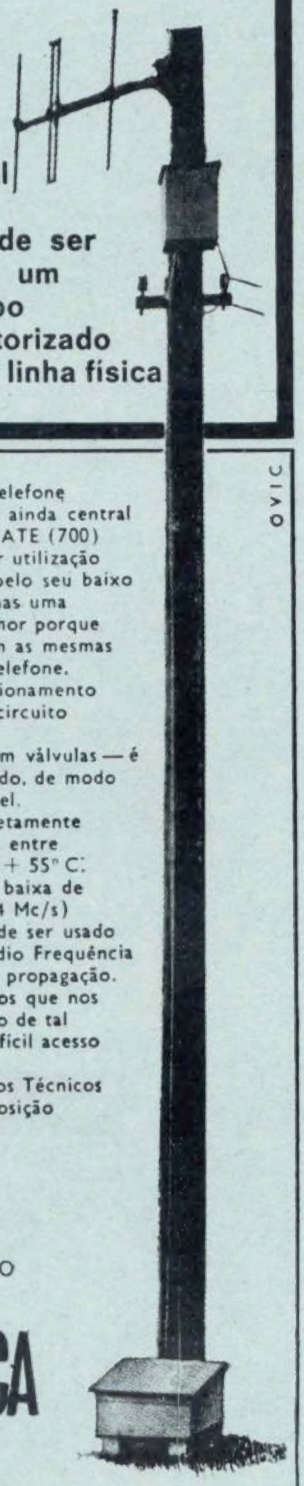
Mande-me, por favor, sem despesas
..... Exemplar(es) do prospecto Novodur, de várias páginas
Exemplar(es) do folheto informativo sobre Novodur, de 56 páginas

Firma _____

Secção _____ à atenção do Snr. _____

Endereço _____

O mesmo que se obtém com um telefone normal através de um circuito físico, pode ser agora obtido com um feixe hertziano tipo ATE (700) transistorizado sem usar qualquer linha física



Quer seja de telefone para telefone ou telefone para central ou ainda central para central, o equipamento ATE (700) é o mais recente e de melhor utilização nos centros rurais. Melhor pelo seu baixo consumo, pois consome apenas uma carga de pilhas por ano. Melhor porque sendo um rádio telefone tem as mesmas possibilidades que tem um telefone, inclusivé facilidades de funcionamento com linhas partilhadas num circuito de transmissão.
Melhor ainda porque não tem válvulas — é completamente transistorizado, de modo a ter a maior duração possível.
É de instalação fácil, completamente estanque podendo trabalhar entre temperaturas de — 20° C a + 55° C.
Fabrica-se nas bandas alta e baixa de VHF (54/88 Mc/s), (150/184 Mc/s) tendo ainda a possibilidade de ser usado com um amplificador de Rádio Frequência para um aumento do raio de propagação.
Estes são portanto os motivos que nos levam a aconselhar a adopção de tal equipamento em áreas de difícil acesso para manutenção.
Para mais detalhes os Serviços Técnicos da AEP estão à inteira disposição de V. Ex.ª.

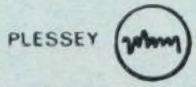
OVIC

Fábrica
CABO RUIVO

AUTOMÁTICA ELÉCTRICA PORTUGUESA

LISBOA S.A.R.L.

Associada ao grupo de companhias PLESSEY Inglaterra



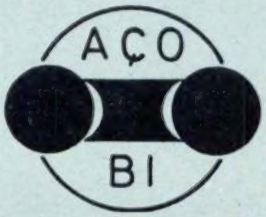
Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kgf/cm²

AÇO BI



Tensão de segurança 4.000 Kgf/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

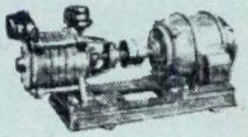
que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º Dt.º
TELEFONES 671224/5 e 673785 - LISBOA

BOMBAS



Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

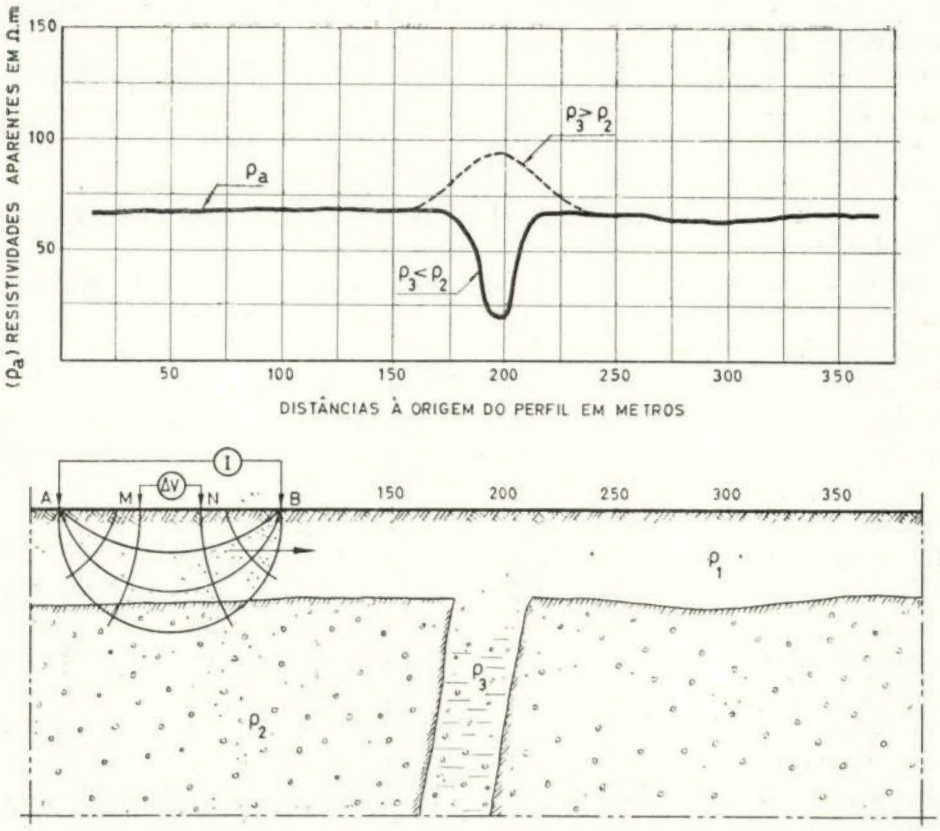


Fig. 15 — Esquema do dispositivo de medição usado na prospecção de falhas geológicas

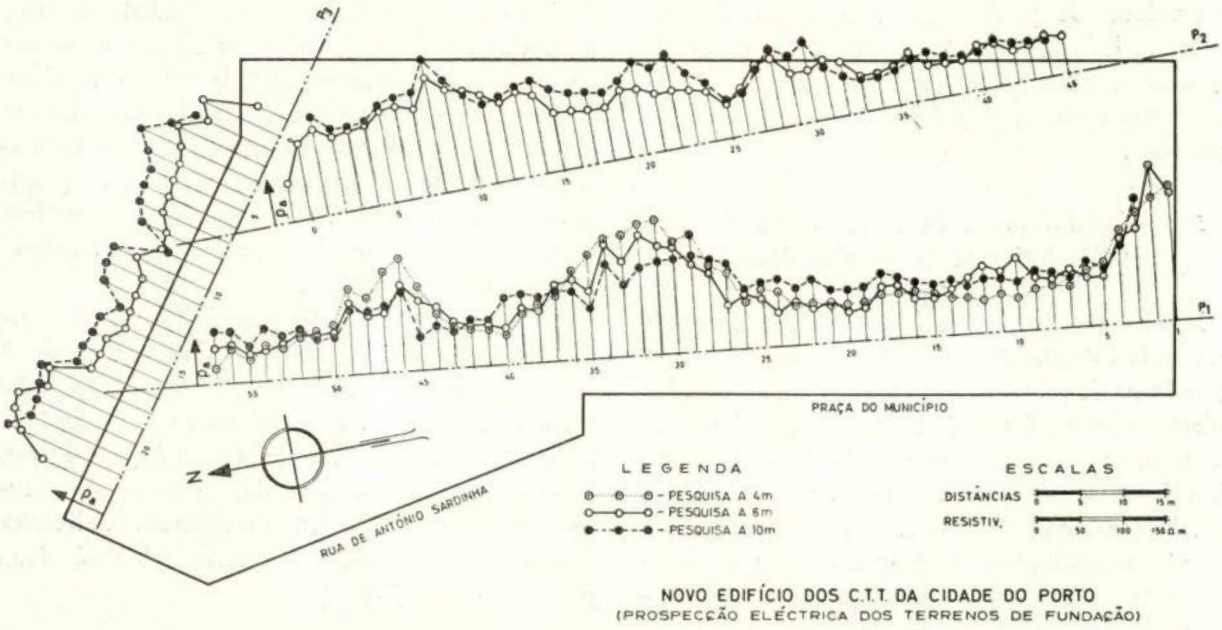


Fig. 16 — Resultados de 3 perfis de resistividade a profundidade constante obtidos sobre os terrenos da fundação do novo edifício dos CTT da cidade do Porto

Na fig. 16 apresentam-se alguns resultados de perfis de resistividade a profundidade constante obtidos durante a prospecção eléctrica dos terrenos de fundação do novo edifício dos CTT actualmente em construção na cidade do Porto. Trata-se de uma formação granítica na qual se constata uma acentuada meteorização até grandes profundidades, processada através de um errático sistema de fracturas e diaclases bastante pronunciado.

A prospecção geotécnica de um terreno deste tipo, em que o estado de alteração do granito varia acentuadamente entre distâncias relativamente curtas, indo desde o caulino até à rocha sã pròpriamente dita, constitui sério embaraço para as tradicionais técnicas de sondagem mecânica. Por tal motivo a natureza do *bedrock* existente na área em estudo foi prospectada por intermédio de uma apertada malha de sondagens eléctricas a que se seguiu uma série de perfis de resistividade a profundidade constante, três dos quais se apresentam na figura anteriormente referida. Os resultados destes ensaios denunciam imediatamente as zonas de maior alteração, bem como a localização pormenorizada de pequenas falhas preenchidas por granitos decompostos, ou mesmo caulinizados, e cuja presença poderia constituir grave risco para a implantação de sapatas de fundação sujeitas a elevadas tensões de serviço. Uma queda brusca, e pouco extensa, dos valores de ρ_a denuncia a existência de uma falha no *bedrock*, enquanto os baixos valores de ρ_a correspondentes a grandes extensões indicam uma forte alteração em massa da formação granítica.

5.4 — Determinação da estratigrafia do subsolo. Natureza geotécnica dos estratos

Interessa muitas vezes à geotecnia a determinação da estratigrafia do subsolo, existente até grande profundidade, especialmente em estudos relacionados com o projecto de túneis, galerias de pressão, cavernas para instalação de centrais hidroeléctricas, abrigos de natureza estratégica, etc. Englobaremos neste caso a prospecção de estruturas geologicas muito profundas; os estudos mais superficiais conduzem geralmente a uma simples determinação da profundidade do *bedrock* com uma ou outra subdivisão de terrenos mais ou menos favoráveis, sob o ponto de vista geotécnico, e sem uma nítida diferenciação estrutural.

Embora a prospecção geoeléctrica possa ser levada até profundidades superiores a 300 m, verifica-se experimentalmente que a precisão dos resultados decresce muito ràpidamente com este parâmetro, especialmente em terrenos com baixos valores de ρ.

Para além dos 200 m de profundidade começa a tornar-se difícil detectar a presença de camadas com uma espessura inferior à dezena de metros, mesmo que o contraste geoeléctrico seja bastante acentuado relativamente aos estratos encaixantes, tal como acontece no caso de uma camada argilosa intercalada em calcários duros e compactos.

Para que determinada camada geológica possa ser detectada, a partir da superfície do terreno, torna-se indispensável que apresente uma apreciável espessura, em face da profundidade de jazida, e que a sua diferenciação geoeléctrica, relativamente às formações circunvizinhas, seja suficientemente elevada. Só assim poderemos obter acentuadas variações da resistividade eléctrica do conjunto estrutural de forma a que se sobreponham a uma eventual falta de precisão dos aparelhos de medida, a uma ligeira influência da topografia, às heterogeneidades superfíciais do terreno, etc.

Admitindo que, para além de determinado espaçamento de eléctrodos, a resistividade eléctrica de um conjunto de estratos geológicos pode ser obtida através da aplicação da lei de *Kirchhoff* (respeitante a resistências eléctricas colocadas em paralelo) poderemos avaliar, embora de uma maneira um tanto ou quanto aproximada, as possibilidades técnicas da aplicação do método geoeléctrico na pesquisa de camadas geológicas localizadas a grande profundidade.

No caso puramente teórico da fig. 17 em que uma camada argilosa, com uma espessura de 2 metros e uma resistividade eléctrica de $\rho_2 = 10$ Ω.m se encontrar localizada a uma profundidade $h_1 = 198$ m, no interior de um maciço calcário, homogéneo e semi-indefinido, exibindo uma resistividade, $\rho_1 = 1000$ Ω.m, a resistividade eléctrica aparente ρ_a do conjunto estrutural será dada pela expressão (10)

$$\frac{h_1 + h_2}{\rho_a} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} \qquad (10)$$